

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra telekomunikační techniky**

**Technologie přenosu dat EuroDOCSIS 2.0**

**Technology transfer data EuroDOCSIS 2.0**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Vladimír Košík**

Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika

Téma: **Technologie přenosu dat EuroDOCSIS 2.0**  
**Technology transfer data EuroDOCSIS 2.0**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte popis technologie přenosu dat koaxiálními kabely EuroDOCSIS a analyzujte její současný stav.
2. Vypracujte postup zavádění a testování této technologie.
3. Proveďte technicko - ekonomické vyhodnocení použití technologie EuroDOCSIS v porovnání s jinými drátovými technologiemi.

Seznam doporučené odborné literatury:

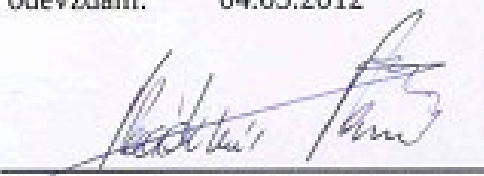
Podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Tesař**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 04.05.2012

  
prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 30.4.2012



.....

*Podpis*

## Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Zdeňkovi Tesařovi za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce.

## **Abstrakt**

Cieľom práce je popísať EuroDOCSIS 2.0, teda technológiu prenosu dát, cez koaxiálne káble, jej zavádzanie a možnosti testovania. Následne zhodnotiť výhody a nevýhody tejto technológie po technickej aj ekonomickej stránke.

Prvá časť detailne popisuje fungovanie systému, komunikáciu CMTS a káblového modemu. Akým spôsobom sa káblový modem prihlasuje, nastavuje a správa v dátovej sieti.

V analýze popisujem stav káblových rozvodov a meraním overujem niektoré predpoklady pre zavedenie systému EuroDOCSIS 2.0. Po analýze je popísané, aké prvky je potrebné doplniť, aby bolo možné zaviesť samotné prvky systému EuroDOCSIS 2.0. V tejto časti je náčrt fungovania a principiálneho zapojenia dátovej technológie spolu s pôvodnou službou distribúcie televízneho a rádiového signálu. Nakoniec časti je popis možnosti testovania dohliadania nad systémom EuroDOCSIS 2.0.

Posledná časť sa venuje technicko-ekonomickému porovnaniu s inými drôtovými technológiami.

## **Kľúčová slova**

EuroDOCSIS 2.0, televízne káblové rozvody, CMTS, káblový modem, hybridná opticko-koaxiálna sieť.

## **Abstract**

The target of this work is to describe the EuroDOCSIS 2.0, a technology data transmission over coaxial cables, its implementation and testing options. Then evaluate the advantages and disadvantages of this technology from technical and economical side.

The first section describes in detail the functioning of the system, communication CMTS and cable modem. How the cable modem logs, configures and manages the data network.

The analysis describes the state of cable and with measurements it verifies some assumptions for the introduction of EuroDOCSIS 2.0. After the analysis it is described what elements need to be added in order to introduce the solitary elements of EuroDOCSIS 2.0. This section describes the function and the principle connection of data technology together with the original distribution service of television and radio signals. At least a description of the options for testing overseeing EuroDOCSIS 2.0 system.

The last part is devoted to technical and economical comparison with other wired technologies.

## **Key words**

EuroDOCSIS 2.0, TV cable networks, CMTS, cable modem, hybrid optical-coaxial network.

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický význam	Slovenský význam
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification	Špecifikácia rozhrania prenosu dát po káblovej sieti
A-TDMA	Advanced Time Division Multiple Access Synchronous Code Division	Zdokonalený viacnásobný prístup s časovým rozdelením
C/N	Signal To Noise Ratio	Odstup signálu od šumu
DBE	Data Backoff End	Údaje Baskoff koniec
DBS	Data Backoff Start	Údaje Baskoff štart
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	Protokol pre dynamickú konfiguráciu hostiteľov
DS	Downstream	Dopredný smer
DSL	Digital Subscriber Line	Digitálne účastnícke vedenie
EuroDOCSIS	European Data Over Cable Service Interface Specification	Európska špecifikácia rozhrania prenosu dát po káblovej sieti
FTTH	Fiber To The Home	Optika do bytu
HFC	Hybrid fibre-coax	Hybridná koaxiálno-optická sieť
IP	Internet Protocol	Internetový protokol
IPv6	Internet Protocol version 6	Internet protokol verzie 6
ITU	International Telecommunication Union	Medzinárodná telekomunikačná únia
MPEG	Motion Picture Experts Group	Skupina expertov pre pohyblivý obraz
NR SR	National Council of the Slovak Republic	Národná rada Slovenskej Republiky
NTSC	National Television Standards Committee	Televízna norma
OSI	Open Systems Interconnection	Prepojenie otvorených systémov
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Kvadratúrna amplitúdová modulácia
QoS	Quality of Service	Kvalita služby
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying	Štvorstavové kľúčovanie s posunom fázy
S-CDMA	Multiple Access	Prístup s kódovým multiplexom
SID	Service Identifier	Identifikátor služby
STN	Slovak Technology Norm	Slovenská technická norma
TFTP	Trivial File Transfer Protocol	Jednoduchý protokol pre prenos súborov
TKR	Television cable networks	Televízne káblové rozvody
TOD	Time of Day	Čas dňa

US	Upstream	Spätný smer
VKV	Very short waves	Veľmi krátke vlny
VoIP	Voice over Internet Protocol	Internetová telefónia
WiFi	Wireless Fidelity	Bezdrôtová kompatibilita

---



## Zoznam obrázkov, tabuliek a grafov

<i>Obr. 2.1 Zosilňovač s DS – a US modulom</i>	15
<i>Obr. 2.2 EuroDOCSIS referenčná schéma</i>	16
<i>Obr. 2.3 Downstream a Upstream medzi CMTS a káblovým modemom</i>	17
<i>Obr. 2.4 Postup inicializácie modemu</i>	21
<i>Obr. 3.1 Merací prístroj TM-3000</i>	36
<i>Obr. 4.1 Zosilňovač LAMBDA PRO 20 (technická špecifikácia)</i>	39
<i>Obr. 4.2 Bloková schéma zapojenia zosilňovača LAMBDA PRO 20</i>	40
<i>Obr. 4.3 Optický NOD GAMMA U22 (technická špecifikácia)</i>	41
<i>Obr. 4.4 Bloková schéma NOD GAMMA U22</i>	42
<i>Obr. 4.5 Cisco uBR7225 CMTS, univerzálny širokopásmový router</i>	43
<i>Obr. 4.5 Zásuvné moduly Cisco uBR-E-28U</i>	44
<i>Obr. 4.6 Káblový modem WTM552B s podporou WIFI, routra a VoIP, prehľad konektorov zadnej strany modemu</i>	44
<i>Obr. 4.7 Dátová zásuvka</i>	45
<i>Obr. 4.8 Prehľad siete so zosilneným spätným strom</i>	47
<i>Obr. 4.9 PROMAX-27</i>	50
<i>Obr. 5.1 Pripojenie koncového užívateľa pomocou FTTH</i>	54
<i>Obr. 5.2 Pripojenie koncového užívateľa pomocou xDSL</i>	55
<i>Tabuľka 2.1: Prehľad prenosových rýchlostí EuroDOCSIS a DOCSIS</i>	14
<i>Tabuľka 2.2: Prípustné množstvo Tick-ov</i>	24
<i>Tabuľka 2.3: QoS v DOCSIS / EuroDOCSIS v 1.1 a 2.0 v detailech</i>	25
<i>Tabuľka 3.1: Vlastnosti použitých káblov</i>	32
<i>Tabuľka 3.2: Prehľad meraných kanálov</i>	35
<i>Tabuľka 3.3: Meranie vlastností TV signálu</i>	35
<i>Tabuľka 4.1: Prenosová kapacita navrhovanej siete</i>	48
<i>Tabuľka 5.1: Prehľad nákladov na pripojenie koncového užívateľa na služby internetu, hlasu a videa</i>	55
<i>Tabuľka 5.2: Uvažované náklady na obstaranie jednotlivých komponentov na pripojenie do internetu</i>	56
<i>Tabuľka 5.3: Porovnanie výhod a nevýhod prístupových metód</i>	57
<i>Graf 5.1 Prehľad investícií do zavedenia systému EuroDOCSIS 2.0</i>	52

1	Úvod .....	12
2	Technológia EuroDOCSIS .....	13
	2.1 Prehľad EuroDOCSIS .....	14
	2.1.1 Spojenie medzi modemom a CMTS.....	16
	2.1.2 Registrácia modemu .....	20
	2.2 Jemné nastavenie modemu .....	21
	2.2.1 Organizácia šírky pásma v spätnom smere.....	23
	2.2.2 Prístupová metóda v spätnom smere .....	24
	2.2.3 Kontrola správneho chodu modemu.....	25
	2.3 Hranice dátovej priepustnosti .....	26
	2.4 Quality of Service.....	27
	2.5 Zvýšené požiadavky na údržbu siete.....	27
	2.6 Zvláštnosti dvojcestnej siete.....	27
	2.7 Hľadanie chýb .....	28
	2.8 Nasadenie Ingress blokerov.....	28
3	Analýza súčasného stavu televízneho káblového rozvodu.....	29
	3.1 Použité zariadenia systému televízneho káblového rozvodu .....	29
	3.1.1 Optická časť.....	29
	3.1.2 Zosilňovače.....	31
	3.1.3 Koaxiálne káble .....	31
	3.1.4 Pasívne prvky .....	32
	3.1.5 Ostatné vlastnosti TKR.....	33
	3.2 Technické vlastnosti a parametre siete .....	33
	3.3 Legislatíva a normalizačná základňa TKR.....	36
4	Vypracovanie postupu zavádzania a testovania technológie.....	37
	4.1 Doplnenie spätného smeru do siete TKR.....	37
	4.1.1 Zosilňovače pre koaxiálnu časť siete.....	38
	4.1.2 Spätný smer pre optickú časť siete .....	40

4.2	CMTS a modem .....	43
4.3	Dátová zásuvka.....	45
4.4	Zapojenie siete.....	45
4.5	Rozdelenie prenosovej kapacity .....	47
4.6	Možnosti rozšírenia prenosovej kapacity do budúcnosti.....	49
4.7	Testovanie zavedenej technológie .....	49
5	Technicko–ekonomické vyhodnotenie použitia technológie EuroDOCSIS v porovnaní s inými drôtovými technológiami .....	51
5.1	Analýza nákladov na zavedenie systému EuroDOCSIS .....	51
5.2	Analýza alternatívnych drôtových technológií.....	53
5.2.1	Analýza nákladov pripojenia pre koncového zákazníka prístupovou metódou FTTH a xDSL	53
5.3	Vlastné ekonomicko-technické vyhodnotenie.....	56
6	Záver.....	58
	Použitá literatúra .....	60

|

---

# 1 Úvod

Využitie rozvodov káblovej televízie je možné rozšíriť o dátové služby. Výhodou takýchto káblových sietí je ich vybudovanie až ku koncovým zákazníkom. V súčasnosti poskytuje mnoho pôvodných poskytovateľov prenosu televíznych signálov aj dátové služby. Existujú ešte však aj takí, ktorí takéto dátové služby na svojich sieťach neposkytujú.

Cieľom tejto práce je navrhnutie a popísanie krokov potrebných pre nasadenie systému EuroDOCSIS 2.0 na rozvody káblového distribučného systému.

V práci najskôr detailne popíšem fungovanie systému EuroDOCSIS 2.0, predovšetkým komunikácie CMTS a modemu. V druhej kapitole približujem stav rozvodov káblovej televízie, jej jednotlivé prvky a nakoniec technické parametre, ktoré sú odrazovým mostíkom pre zavedenie systému. V závere kapitoly preverujem niektoré parametre meraním na televíznych účastníckych prípojkách. Samotným postupom zavádzania systému EuroDOCSIS 2.0, výberom vhodných komponentov pre zavedenie spätného smeru, sa zaoberám v kapitole číslo tri. Navrhujem tiež možnosti testovania a kontroly celého systému. Ďalej približujem fungovanie CMTS a modemu a ich umiestnenie v sieti. Zaoberám sa i rozdelením prenosovej kapacity, ktorá súvisí s rozložením siete. V poslednej štvrtej kapitole rozoberám predpokladané náklady na výstavbu siete EuroDOCSIS a následne ich porovnávam s nákladmi na zapojenie koncového zákazníka pomocou iných drôtových technológií.

---

## 2 Technológia EuroDOCSIS

Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS) je medzinárodný štandard vytvorený spoločnosťou CableLabs. Podporujú ho uznávané spoločnosti ako Cisco, Broadcom, ARRIS, Conexant, Intel, Motorola a Texas Instruments a ďalší. Definuje komunikačnú a operatívnu podporu pre širokopásmový prenos dát po koaxiálnych vedeniach (po infraštruktúre káblovej televízie). DOCSIS používa mnoho káblových operátorov po celom svete pre prístup ich zákazníkov do Internetu prostredníctvom hybridnej opticko-koaxiálnej (HFC) siete.

Prvá verzia bola vydaná už v marci 1997. Neumožňovala však obojsmerný prenos dát, smerom od používateľa, preto bolo potrebné použiť alternatívu, napr. telefónnu linku. V roku 1999 bola vydaná špecifikácia 1.1. S touto verziou prišiel obojsmerný prenos dát a podpora služieb v reálnom čase (napr. VoIP) [1]. Zvýšené požiadavky na vyššie rýchlosti a implementovanie QoS boli koncom roka 2001 vypočítané a uvedené ako DOCSIS 2.0. Ten prináša predovšetkým zlepšenie v zachádzaní s rušením v spätnom smere, ako aj navýšenie kapacity siete v spätnom smere. Umožňuje to vylepšená metóda zdieľania kanálu A-TDMA a S-CDMA [12]. Obidve používajú šírku pásma až 6,4 MHz, A-TDMA používa modulácie QPSK a 8 až 64-QAM, metóda S-CDMA ešte navyše 128-QAM [2]. Rozdiely medzi týmito prístupmi sa líšia podľa prostredia rušenia. S-CDMA je vo výhode, keďže dĺžka rušivých impulzov je väčšia ako 10 μs. Naopak A-TDMA je vo výhode, ak sú tieto impulzy menšie ako 10 μs. Samozrejme existuje omnoho viac rozdielov, pri ktorých je niekedy lepšie nasadenie jednej metódy, inokedy druhej. Zvýšenie kapacity v spätnom smere je predovšetkým výhodné pre podnikových zákazníkov a pre Peer-to-Peer služby. Okrem toho je odolnejší voči výpadkom. Z roku 2006 je posledná špecifikácia s označením DOCSIS 3.0 a opäť priniesla zvýšenie prenosových rýchlostí a navyše aj podporu Internet protokolu verzie 6 (IPv6).

Keďže frekvenčné TV pásmo medzi USA a európskymi krajinami je rozdielne, bol DOCSIS modifikovaný aj pre použitie v Európe a publikovaný pod označením EuroDOCSIS. Základným rozdielom je šírka TV kanálu, kým v severnej a časti južnej Ameriky a v Japonsku sa používa systém NTSC (National Television Standards Committee) so šírkou pásma 6 MHz. V Európe sa používa šírka pásma 8 MHz, čo umožňuje využiť väčšiu šírku pásma a prináša väčší dátový tok. Určité rozdiely sú aj v Japonskom TV systéme, preto sa i tam používa čiastočne upravená verzia DOCSIS. V tabuľke 1 je uvedený prehľad dosiahnuteľných prenosových rýchlostí.

Tabuľka 2.1: Prehľad prenosových rýchlostí EuroDOCSIS a DOCSIS

<i>Verzia</i>	<i>EuroDOCSIS Downlink</i>	<i>EuroDOCSIS Uplink</i>	<i>DOCSIS Downlink</i>	<i>DOCSIS Uplink</i>
<i>1.x</i>	<i>50 Mbit/s</i>	<i>9 Mbit/s</i>	<i>38 Mbit/s</i>	<i>9 Mbit/s</i>
<i>2.0</i>	<i>50 Mbit/s</i>	<i>27 Mbit/s</i>	<i>38 Mbit/s</i>	<i>27 Mbit/s</i>
<i>3.0</i>	<i>400 Mbit/s</i>	<i>108 Mbit/s</i>	<i>304 Mbit/s</i>	<i>108 Mbit/s</i>

Niektoré špecifikácie boli schválené aj ITU ako medzinárodný štandard. Frekvenčné pásmo je podobne ako pri technológiách ADSL rozdelené asymetricky, pre prenos od používateľa k poskytovateľovi slúžia frekvencie od 5 do 42 MHz pre DOCSIS, resp. od 5 do 65 MHz pre EuroDOCSIS. Pre smer od poskytovateľa k používateľovi potom vyššie frekvencie až do 860 MHz – táto časť pásma je ale súčasne využívaná pre prenos rozhlasových a TV kanálov, preto nemôžu byť využité všetky frekvencie na prenos dát. Koaxiálne káble majú schopnosť prenosu signálu až po 3 GHz. Spodné pásmo sa okrem prenosu dát od používateľa využíva aj na monitoring siete, signalizáciu a káblovú telefóniu.

## 2.1 Prehľad EuroDOCSIS

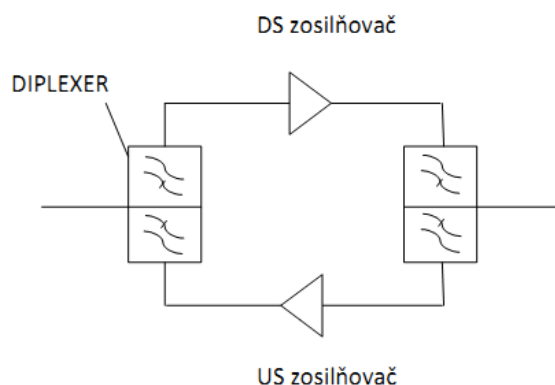
Základ architektúry tvorí CMTS, teda zariadenie ktoré zabezpečuje nasadenie dátových prenosov do siete televíznych káblových rozvodov, káblový modem, ktorý je na opačnom konci siete u koncového užívateľa. CMTS teda nielen vytvára ale aj riadi a dohliada nad celým prenosom dát a preto je hlavným prvkom v sieťach s DOCSIS systémom [4].

V sieti sú dva prenosové smery, dopredná prenosová cesta so smerom k modemu koncového užívateľa (Downstream) a spätná prenosová cesta (Upstream) so smerom od modemu koncového užívateľa. Preto je frekvenčné pásmo rozdelené podľa použitej technologic [3]:

Downstream (DS): od 48 ... 85 do 600 ... 862 MHz,

Ochranné pásmo: od 30 .. 65 do 48 ... 85 MHz,

Upstream (US): od 5 do 30 ... 65 MHz.



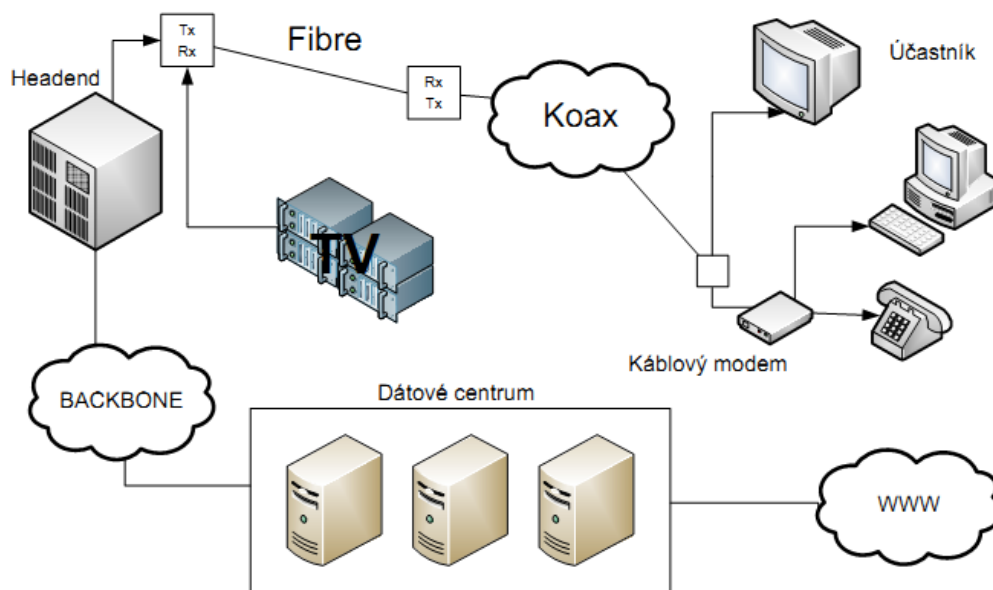
Obr. 2.1 Zosilňovač s DS – a US modulom

V zosilňovači signálu, sa nachádza jeden zosilňovací modul pre Downstream a jeden pre Upstream. Demultiplexor rozdeľuje signály na zosilňovače v závislosti na frekvenčnom pásme.

Šírka pásma v EuroDOCSIS pre Downstream je v porovnaní s Upstream-om relatívne veľká z dôvodu, že v doprednom smere je pridelená šírka pásma pre jeden alebo viac televíznych kanálov. CMTS má preto dostatočnú šírku pásma pre komunikáciu s modemami účastníkov a teda im môže v krátkom čase poslať tabuľky, ktoré upresňujú komunikáciu pre spätný smer. V doprednom smere obsluhuje CMTS všetky modemy jediným dátovým tokom a modemy si z neho vyberajú potrebné informácie. V spätnom smere naopak vysielajú modemy samostatne, tak povediac si konkurujú v obsadzovaní dátového kanála. Tu musí preto CMTS riadiť prevádzku. Je nutné, aby modem vedel kedy má vysielat'.

CMTS rozdeľuje časovú os v spätnom smere do tzv. Contention okien. V jednom Contention okne si môže modem sám určiť moment pre svoj prenos, samozrejme podľa určitých pravidiel. To znamená, že sa v doprednom smere prenášanej tabuľke (MAP) dozvie aké mu je priradené časové okno na vysielanie. Pri prvom prihlásení modemu obdrží CMTS správu a môže modem identifikovať a zapísať do svojej databázy ako aktívny. Modem po zaradení do databázy dostáva informácie o pridelených časových oknách priamo adresované od CMTS. Pokiaľ modem nedostane na svoje prihlásenie odpoveď musí vychádzať z toho, že CMTS nedostalo jeho požiadavku, pretože nastala kolízia s iným modemom. Modem zavádza proces Contention Resolution. Modemy začnú vysielat' podľa rôznych časových intervalov až dovtedy, kým nebudú CMTS identifikované a následne od CMTS individuálne oslovené. Ten istý princíp použije modem pokiaľ chce neočakávane vysielat'. Použije na vybavenie svojej požiadavky Contention okno.

Najneskôr každých 30 sekúnd oslovuje CMTS všetky svoje modemy a ubezpečuje sa či sú aktívne.



Obr. 2.2 EuroDOCSIS referenčná schéma

Na obrázku vidíme komplexný pohľad na EuroDOCSIS systému. Káblový modem je cez opticko-koaxiálnu sieť obsluhovaný regionálnym Headend-om. Regionálny Headend je cez chrbticovú sieť prepojený s dátovým centrom. Tam sa nachádzajú potrebné servery pre komunikáciu:

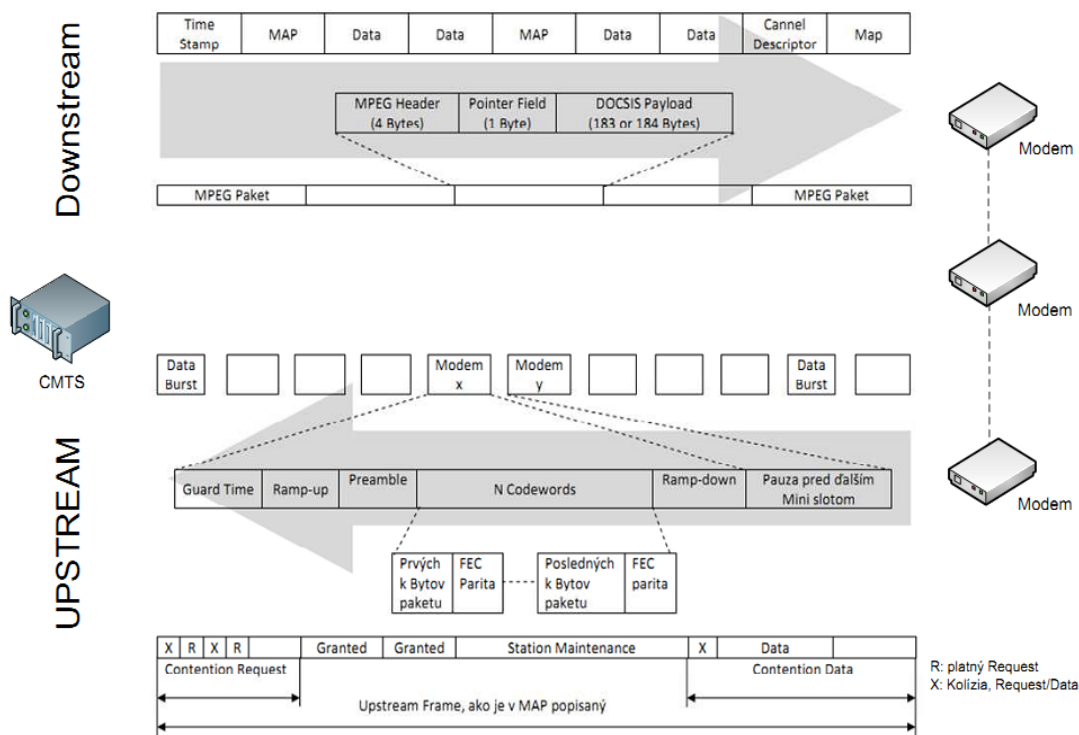
- DHCP-Server poskytuje IP adresy káblovému modemu, IP Subnet-Mask, názov konfiguračného súboru pre káblový modem a adresu TFTP-servera, UTC časový posun ako aj adresu TOD servera,
- TFTP server (Trivial File Transfer Protocol), slúži na registráciu a káblový modem si z neho preberá individuálny konfiguračný súbor s parametrami pre Quality of Service (QoS), Baseline-Privacy (PBI), pridelené frekvenčné pásmo atď.,
- TOD server, časový server (Time of Day), dodáva dostatočné informácie o čase.

### 2.1.1 Spojenie medzi modemom a CMTS

V doprednom smere prechádzajú permanentne dátové pakety v MPEG formáte, ako MAP (tabuľka s informáciami vo vysielacích oknách), časová značka (Time Stamp) a UCD (Upstream Chanel Descriptor). Všetky modemy načúvajú na vedení a selektujú informácie, ktoré sú určené pre ne. UCD hovorí modemu aké sú pravidlá vysielania. Upstream je používaný spoločne všetkými modemami. CMTS poskytuje informácie modemom o vysielacích oknách. CMTS Pre potrebu vybudovania spojenia a na požiadavku na prenos súborov sa môže modem sám prihlásiť u CMTS.



Potom musí súťažiť s ostatnými modemami (Contention), vtedy môžu nastať kolízie. Preto existuje predpis ako majú modemy v tejto situácii postupovať (Contention Resolution Algorithm).



Obr. 2.3 Downstream a Upstream medzi CMTS a káblovým modemom

Na obrázku vidíme komunikáciu medzi CMTS a káblovými modemami [3]. Postup v CMTS pri vysielaní v doprednom smere je nasledovný:

- Rozdelenie došlých dátových paketov do blokov a formátovanie do MPEG formátu,
- Reed Solomon kódovanie (blokové dopĺňanie chybovej ochrany),
- Byte Interleave (výmena Bytov kódovými slovami, prenos sa stane odolnejší voči zhluku porúch),
- Scrambling (Randomizing, zamedzenie hromadenia núl a jednotiek),
- Filtrovanie prúdu symbolov na prípustnú hodnotu spektra,
- Modulácia (xQAM).

V modeme prebieha dátový prenos nasledovne (postupy, ktoré sú len pre TDMA alebo S-CDMA sú označené):

- Rozdelenie došlých dátových paketov do blokov,
- Reed Solomon kódovanie (blokové dopĺňanie chybovej ochrany),

- 
- TDMA: Byte Interleave (výmena Bytov kódovými slovami, prenos sa stane odolnejší voči zhluku porúch),
  - Scrambling (Randomizing, zamedzenie hromadenia núl a jednotiek),
  - S-CDMA : TCM kódovanie (Trellis Code Modulation), dá sa vypnúť,
  - Preamble Prepend (prednastavenie preamble dátovej zbernice, aby sa CMTS dokázalo synchronizovať pre prichádzajúce dáta),
  - S-CDMA: S-CDMA Framer formátuje Mini-slots s použitím Interleaving-u,
  - Zobrazenie dátového prúdu na symboly (odpovedajú modulačnej schéme sa určí každému symbolu vektor),
  - Predkorekcia symbolového prúdu,
  - S-CDMA: rozoprenie symbolov, dá sa vypnúť
  - Filtrovanie prúdu symbolov na prípustnú hodnotu spektra,
  - Modulácia (QPSK, xQAM)

Pri inštalácii modemu je CMTS ako aj DHCP a TFTP server informovaný o systémových parametroch. Nasleduje zapojenie modemu u zákazníka.

Káblový modem začína s hľadaním downstreamového kanála. Prebieha synchronizácia s QAM, FEC (Forward Error Korection) ako aj synchronizácia s MPEG (Moving Picture Experts Group, dáta sú prenášané v 188 bitových rámcoch). MPEG fragmentácia je následne odstránená a výsledné MAC rámce sú prenášané cez MAC vrstvu.

Po synchronizácii v doprednom smere nasledujú kroky na synchronizáciu v spätnom smere. Modem čaká na Sync správu od CMTS. Sync správa je CMTS pravidelne vysielaná (častejšie ako 200ms). Obsahuje časovú značku podľa, ktorej označuje čas správy (32bit). Káblový modem na jej základe synchronizuje svoju časovú základňu, aby mohol vysielat' dáta v presne určených časových oknách.

Nasleduje správa UCD (Upstream Channel Descriptor), ktorá je tiež CMTS pravidelne vysielaná. UCD obsahuje nasledovné informácie o upstream kanály:

- veľkosť mini-slotov
- ID upstream kanálu
- ID downstream kanálu
- Burst Descriptor

CMTS vysielá periodicky, každé 2ms MAP správy. Táto správa priradzuje šírku pásma pre vysielanie. Obsahuje informácie o začiatku a konci prvotnej výstavby spojenia. Káblový modem naplní svoj Ranging-Offset register s hodnotou na kompenzáciu známych oneskorení (DS Interleaver).

---

Káblový modem vysiela k CMTS následne správu Ranging Request (požiadavka na vybudovanie spojenia)

CMTS obdrží od modemu prvotnú požiadavku na vybudovanie spojenia (Ranging Request) . CMTS odpovedá správou Ranging Response a priradí modemu:

- SID (Service Identifier) a rezervuje šírku pásma pre vysielanie,
- časový offset, nastavenie frekvencie,
- downstream a upstream kanály.

Následne naštartuje CMTS overovací proces registrácie:

- CMTS priradí káblovému modemu dočasnú SID a doplní modem do smerovacích tabuliek,
- CMTS posiela MAP pre túto SID,
- káblový modem prijíma nastavenia,
- CMTS posiela Ranging Response, aby oznámil úspešnosť prípadne neúspešnosť výstavby spojenia.

Používajú sa špeciálne MAC rámce. Modemu je k dispozícii funkcia Pigiback čo znamená, že modem môže počas vysielania dať vyžiadať ďalšie pridelenie prenosového pásma. Požiadavka na pridelenie pásma obsahuje SID a počet potrebných minislottov. Tento dopyt môže byť vložený do správ Request, Request/Data alebo Data-Transmit. Pokiaľ nie je prijaté potvrdenie požiadavky nasleduje správa vložená do MAP v doprednom smere.

Pridelovanie času na vysielanie v spätnom smere pre každý modem prebieha pomocou MAC tabuľky a je posielaná v doprednom smere. Typické dĺžky pre MAP sú od 5 do 15ms. CMTS posiela v každom Downstream kanály samostatné MAP tabuľky. Každé potvrdenie priradenia šírky pásma od CMTS obsahuje SID, Burst Type (Request Bandwidth, Initial Maintenance, Station Maintenance, Short Data, Long Data) a trvanie pridelenia pásma. MAP obsahuje Upstream kanál ID a konfiguračné číslo, umožňuje dynamické zmeny Upstream Channel Descriptor (UCD).

Káblový modem vyšle Broadcast DHCP požiadavku k DHCP serveru (nad CMTS). DHCP server odpovedá s nasledujúcimi údajmi:

- IP adresa a Subnet- maska,
- meno konfiguračného súboru káblového modemu, IP adresa TFTP servera,
- UTC časový Offset pre určenie lokálneho času,
- IP adresa TOD servera.

---

Káblový modem posiela požiadavku na časový server. Následne obdrží normalizačný čas UTC.

Následne stiahne konfiguračný súbor z TFTP servera. Adresu servera nájde modem v polí "siaddr" odpovede od DHCP.

### 2.1.2 Registrácia modemu

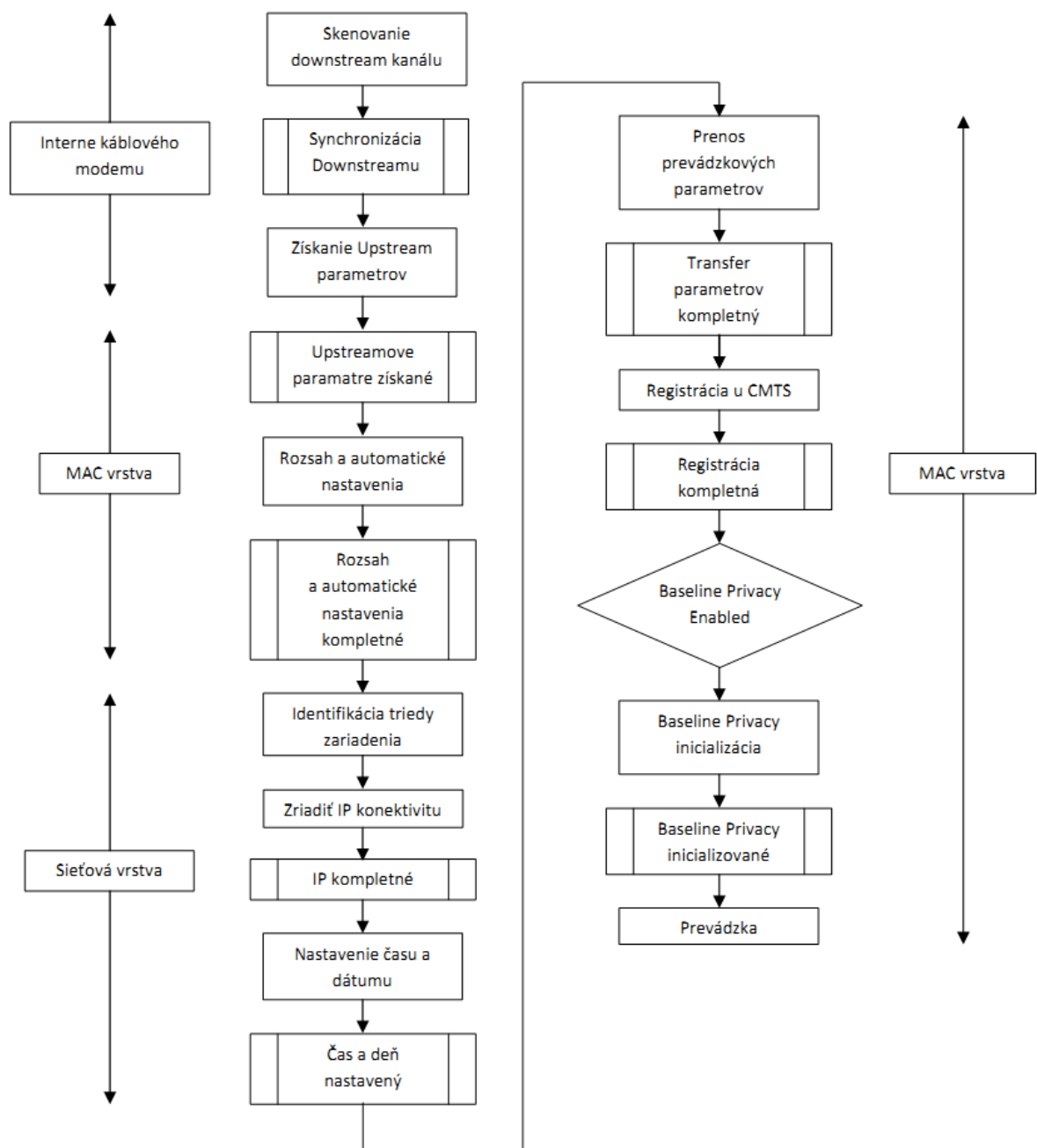
Káblový modem vyžiada svoju registráciu (REG-REQ). S požiadavkou posiela informácie z konfiguračného súboru, ktorý obdržal modem od TFTP servera:

- Downstream frekvencia, Upstream ID,
- nastavenia pre prístup ku sieti,
- Class of Service,
- možnosti modemu.

CMTS následne vykoná:

- preverí MAC adresu,
- prideli SID,
- prideli do Class of Service povolenú šírku pásma,
- ak modem požadoval spojenie modifikuje CMTS smerovacie tabuľky,
- posiela potvrdenie registrácie (REG-RSP) späť modemu.

Po registrácii modemu nasleduje Baseline Privacy. Ochraňuje prenášané dáta šifrovaním prenášaného dátového toku v spätnom aj doprednom smere. Ochraňuje poskytovateľa služby pred neoprávneným prístupom do siete. Overuje oprávnenia CMTS a modemu. Má na starosti aj výmenu 56 bitových kľúčov DES symetrického šifrovania. Šifrovanie dát sa robí zvlášť pre každé SID.



Obr. 2.4 Postup inicializácie modemu

## 2.2 Jemné nastavenie modemu

Jemné nastavenie modemu Ranging obsahuje nasledujúce proti procesy:

- jemné nastavenie časovej frekvencie,
- jemné nastavenie vysielačnej frekvencie,
- jemné nastavenie vysielačného výkonu.

Každý káblový modem má od CMTS inú vzdialenosť, preto si vyžaduje samostatné nastavenie. Na začiatku Ranging procesu vysiela káblový modem cez upload kanál a Contention okno,

---

požiadavku Ranging-Request na CMTS. Čas vysielania je zhruba daný Sync značkou v MAP. CMTS reaguje po príchode tejto správy vyslaním Ranging Response potvrdením káblovému modemu. Pokiaľ káblový modem v neobdrží potvrdenie v definovanom časovom okne, môže to mať dve príčiny:

- dva káblové modemy začali vysielat' naraz. Vznikla kolízia a CMTS nemohlo obdržať žiadnu správu,
- káblový modem nebol pre nízky zisk u CMTS rozpoznaný.

V oboch prípadoch zvyšuje káblový modem zisk vysielaného signálu a čaká náhodný časový úsek kým pokus zopakuje. Na prípravu Ranging Response potvrdenia si CMTS pamätá nasledujúce:

- časový odstup začiatku vysielania Initial Maintenance Transmit Opportunity po príchod správy Ranging Request od káblového modemu,
- presnú vysielaciu frekvenciu káblového modemu,
- zachytený výkon.

Tieto údaje sú vyhodnotené a slúžia káblovému modemu spolu s Ranging Response potvrdením ako opravné hodnoty pre presné nastavenie. Káblový modem upraví svoje nastavenie a opäť vyslela správu Ranging Request. CMTS si opäť pamätá hodnoty a pomocou nich káblový modem prispôsobuje svoje nastavenia. Tento proces sa opakuje pokiaľ je časové oneskorenie menej ako 1  $\mu$ s, vysielacia frekvencia súhlasí na menej ako 10Hz a zisk je v rámci rozsahu  $\pm 1$  dB.

Ranging proces prebieha prvý krát pri prvom zapojení káblového modemu a opakuje sa v pravidelných intervaloch naplánovaných CMTS. Vďaka pravidelnej synchronizácii funguje spojenie medzi CMTS a káblovým modemom bezchybne.

Časová synchronizácia je dôležitá pre správne fungovanie MAC protokolov. Dopredné a spätné oneskorenie musí byť predkorigované, pretože všetky vysielané pakety musia byť napasované do preddefinovaných mini slotov. Nasledujúce faktory prispievajú k oneskoreniu

Downstream:

- Latencia (napríklad sa pakety nachádzajú vo vysielacej fronte CMTS),
- Downstream Propagation Delay (oneskorenie na fyzickej vrstve),
- Schopnosť procesoru CMTS spracovať dáta.

Upstream:

- Upstream Propagation Delay (oneskorenie na fyzickej vrstve),
- schopnosť procesoru CMTS spracovať dáta.

Ranging proces posúva pre kompenzáciu od CMTS odporúčané časové úseky pre každý káblový modem individuálne.

---

Káblový modem začína s počiatočným nastavením zisku pri 68 dBμV. Pokiaľ zachytáva CMTS káblový modem mimo okna, od 35 dBμV do 85 dBμV, je káblový modem nastavovaný po krokoch o veľkosti 3dB. Neskôr sú kroky menšie.

CMTS oznamuje modemu v správe Ranging Pesponse potrebné korekcie vysielaného výkonu s presnosťou 0,25dB. Rozlíšenie u CMTS je ale 1dB. Obyčajne nastavuje v prevádzke CMTS vysielaciu frekvenciu modemu v 1dB krokoch.

Pomocou MAP kontroluje CMTS používanie Contention Slots. MAP obsahuje dve hodnoty, DBS (Data Baskoff Start) a DBE (Data Backoff End), ktoré sa rozumejú ako exponenty 2 a môžu nadobudnúť hodnoty od 1 do 16.

Káblový modem, ktorý sa chce prihlásiť, volí náhodne veličinu medzi 0 a  $2^{DBS}-1$ . Pokiaľ MAP definuje napríklad hodnotu DBS = 4 a DBE = 8, znamená to náhodnú veličinu medzi 0 a 15 ( $2^4-1$ ). Povedzme, že modem volí číslo 7, potom je vynechaných 7 časových slotov, pokiaľ začne modem vysielat'. Keď CMTS obdrží tieto dáta, potvrdí ich modemu pridelením vysielacieho časového slotu a tým sa modem dostáva do nového vysielacieho cyklu, zodpovedajúcemu použitému prístupovému postupu.

Pokiaľ bol prenos vplyvom kolízie neúspešný, CMTS neobdržal žiadne dáta. To znamená, že modem zbytočne čaká na odpoveď a opakuje svoju požiadavku. Pre tento účel zvýši hodnotu DBS zo 4 o 1 na 5, volí opäť náhodnú veličinu, teraz z rozsahu od 0 do  $(2^5-1) = 31$ . To znamená, že vždy, keď sa nevybuduje žiadne spojenie zvýši modem hodnotu DBS o 1 a zvolí náhodnú veličinu až po maximálnu hodnotu ( $2^{DBE}-1$ ). V našom prípade je DBE = 8 a maximálna hodnota dosahuje  $(2^8-1) = 255$ . Počet pokusov je obmedzený na 16, potom sa už modem nepokúša o spojenie.

### 2.2.1 Organizácia šírky pásma v spätnom smere

DOCSIS organizuje v Upstream-e svoju šírku pásma do Tick-ov a Mini-slotov. Jeden Mini-slot pozostáva z niekoľkých Tick-ov. Počet Tick-ov na Mini-slot je nasledujúci:

$$\text{Mini-slot} = M \times \text{Tick} \quad \text{pričom } M=2^x \quad x=1\dots7$$

V DOCSIS je obyčajne nasledovne zostavený:

- Tics / Mini-sloty: 4
- Čas / Mini-slot: 25μs
- Mini-sloty / sekunda: 40.000
- Symboly / Byte: 16 (obyčajne pri QPSK)
- Symboly / sekunda: 2.560.000

Odporúča sa dĺžku Mini-slotov nastaviť na 8 alebo 16 bytov. Dlhšie Mini-sloty spôsobujú časové straty a dochádza častejšie ku kolíziám. I keď to nie je vždy možné, pretože DOCSIS

predpisuje minimálnu dĺžku 32 symbolov. Hornú hranicu určuje čip v CMTS (napr. BCM 3137 od Broadcom s 256 symbolmi). Nasledujúca tabuľka 12.1. ukazuje počet Tick-ov na jeden Mini-slot na šírku kanálu.

Tabuľka 2.2: Prípustné množstvo Tick-ov

Šírka kanálu	Prípustné množstvo Tick-ov na Mini slot			
0,2 MHz	32	64	128	
0,4 MHz	16	32	64	128
0,8 MHz	8	16	32	64
1,6 MHz	4	8	16	32
3,2 MHz	2	4	8	16

### 2.2.2 Prístupová metóda v spätnom smere

Pre všetky ďalšie prenosy od modemu k CMTS, žiada modem pridelenie šírky pásma a CMTS mu prideluje. Požiadavka prichádza v dopredu určenom časovom úseku, o ktorom je modem v pravidelných intervaloch informovaný pomocou MAP. Tento postup môže viesť ku kolíziám, preto je úlohou CMTS zabezpečiť dostatočný počet Mini-slotov v Connection oblasti. CMTS prideluje potom modemu pre jeho dátový prenos vlastné časové úseky. S prenosom k CMTS môže byť dopytovaná väčšia prenosová šírka pásma. Tento systém sa volá Piggy-Backing. Takto sa predchádza kolíziám v Connection oblasti časovej schémy. Okrem toho DOCSIS podporuje izochrónny ako aj pridelovaný prístup, ktoré umožňujú rovnomerný Bitrate. Modemu sú pravidelne pridelované časové úseky, tak aby prenos dát prebiehal kontinuálne. Pokiaľ modem vysiela málo dát, ktoré potrebujú len veľmi malé množstvo Mini-slotov a v sieti je málo dátového toku, môže dokonca CMTS, pokiaľ je tak konfigurované, dopytovací proces modemu vypustiť a v priamo na to určenom úseku začať vysielat' dáta (Immediate Acces Region).

Modem môže pristupovať k prenosovému pásmu viacerými spôsobmi:

- normálna rezervácia v Contention Mode,
- Piggy-Backing Reservation (s vysielanými dátami sa vyšle aj požiadavka na pridelenie ďalšej prenosovej kapacity),
- Polling prístup (modemu je periodicky pridelovaná prenosová šírka pásma),
- Izochrónny prístup (modemu je periodicky pridelovaná prenosová šírka pásma),
- periodické žiadosti o pridelovanie prenosovej kapacity (Periodic Request Polling),



- okamžitý prístup (Immediate Acces).

*Tabuľka 2.3: QoS v DOCSIS / EuroDOCSIS v 1.1 a 2.0 v detailech*

Service	QoS Parameters	Access Modes	Applications
UGS	Unsolicited Grant	Isochronous access	Videoconference, VOD
UGS – AD	Unsolicited Grant with activity detection	Isochronous access	Voice over IP with activity detection
rtPS	Nominal Polling Interval	Periodic request polling	Immediate access Voice over IP
nrtPS	Nominal Polling Interval		High Bandwidth File Transfer protocol (FTP)
Best Effort	Minimum reserved traffic rate, Maximum sustained traffic rate	Normal reservation Immediate access	Telnet, FTP, Web
CIR	Vendor defined	Vendor defined	Depends on service definition (future services)

### 2.2.3 Kontrola správneho chodu modemu

V káblovom modeme okrem iného prebiehajú nasledujúce Timeout počítadlá na kontrolu správneho chodu:

- T1 – „Čakaj na UCD Timeout“. Čaká sa 5 UCD (Upstream Channel Descriptor; Tabuľka je modemu pridelená v Downstream-e a obsahuje informácie o kanáloch pre prenos v Upstream-e) intervalov (cca 10 sekúnd), potom začína modem nanovo s hľadaním po Downstream signály.
- T2 – „Wait for Broadcast Ranging Timeout“. Čaká sa 5 Ranging intervalov, potom je modem nanovo inicializovaný.
- T3 – „Wait for Ranging Response“. Obyčajne sa čaká 50 až 200ms, potom podľa toho či už prebehli aj povolené opakovania, je zopakovaný Ranging alebo je modem nanovo inicializovaný.
- T4 – „Wait for Unicast Ranging Opportunity“. Čaká sa maximálne 30 sekúnd, potom je modem opätovne inicializovaný.

- 
- T5 – „Wait for Upstream Channel Change Response“. CMTS môže donútiť modem zmeniť Upstream kanál. T5 dohliada na zmenu, dáva modemovi na ňu čas 2 sekundy. Pokiaľ sa zmena nepodarí označí CMTS modem ako nezastihnuteľný a modem je odznova inicializovaný.
  - T6 – „Wait for Registration Response“. Pokiaľ nie je tento proces úspešný, modem je opäť inicializovaný.

## 2.3 Hranice dátovej priepustnosti

Dopredná priepustnosť je obmedzená hustotou vysielania MAP tabuliek od CMTS k modemom. MAP obsahuje informácie pre požiadavky na vysielacie časy v Upstream-e. Aj ostatné systémové procesy znižujú priepustnosť dát. MAP tabuľku môžu spolu s Downstream priepustnosťou CPU zaťažiť, pretože CPU sa napríklad pri 6 portoch na štyroch kartách a 500 MAP za sekundu musí postarať dokopy o 12.000 MAP za sekundu.

V spätnom smere môže v Request / Grant cykle medzi modemom a CMTS, závislom aj na Round Trip Time, dĺžky MAP tabuľky a doby obdržania MAP použiť maximálne len každú druhú MAP. Dôvodov je viacero:

- Round Trip Time je od Downstream Interleaving závislé,
- modem môže mať otvorený len jeden časový úsek u CMTS,
- CMTS potrebuje čas na spracovanie požiadaviek na prenosovú kapacitu a povoliť jej pridelenie,
- samotný typ komunikácie v DOCSIS protokole spôsobuje oneskorenie,
- modem premešká zachytenie každej druhej MAP pretože, najskôr čaká na pridelenie okna v MAP na vysielanie.

Pokiaľ chce modem vysielat' väčší dátový blok, napríklad 15 MB súbor, použije Piggy-Back postup, teda dopyt je vysielaný spolu s vysielanými dátami.

Ako náhle je nastavená časová synchronizácia, frekvencia a vysielací výkon, musí modem nastaviť modem IP protokol. Pre tento účel kontaktuje modem DHCP server a obdrží od neho dočasnú IP adresu. Po tom ako je modem nejaký čas neaktívny je mu táto adresa odobraná a dočasne pridelená inému modemovi. Takto sa šetrí s IP adresami.

Pri registrácii začne káblový modem so sťahovaním konfiguračného súboru. IP adresu servera konfiguračného súboru a názov konfiguračného súboru má modem od DHCP servera. Konfiguračný súbor obsahuje informácie ako napríklad povolená prenosová šírka kanálu a podporované služby. Na koniec registrácie vysielá modem konfiguračný súbor do CMTS, ktoré si tento súbor tiež vyžiadalo zo servera a tieto dva súbory porovnáva. Takto sa predchádza zneužitiu.

---

Akonáhle je modem etablovaný, sú dáta medzi modemom a CMTS šifrované pomocou Base Line Privacy Plus (BPI+). BPI+ zabezpečuje aj certifikáciu a autentifikáciu.

## **2.4 Quality of Service**

DOCSIS 1.0 bol schopný ponúknuť len Best Effort Service. S DOCSIS 1.1 bolo umožnené podporovať rôzne služby s rôznymi prioritami na tom istom modeme. Používa sa pri tom klasifikácia paketov podľa cieľa, pôvodu, typu prevádzky atď. a sú priradované rôznym Service Flows. Určitý Service Flow garantuje predpoklady pre minimálne a maximálne hodnoty pre priepustnosť, latenciu, Jitter a iné. Dynamic Service Assignment vytvára a vymazáva dynamicky Service Flows podľa potreby.

Vo vytlačenej sieti je nápomocné, keď dokáže CMTS dynamicky reagovať na prenosové požiadavky v Upstream-e. Preto bola do DOCSIS 1.1 zabudovaná možnosť fragmentácie veľkých paketov na menšie.

S DOCSIS 1.1 bolo umožnené spájanie malých paketov do väčších. DOCSIS podporuje maximálne 240 Mini-slotov na vysielací cyklus. Jeden Mini-slot obsahuje typicky 8 alebo 16 bytov. Takto sa dajú za vysielací cyklus preniesť 1920 prípadne 3840 bytov.

## **2.5 Zvýšené požiadavky na údržbu siete**

Odstraňovanie rušenia sa zaoberá rýchlym odstránením výpadkov. Cieľom je čo najrýchlejšie vrátiť systém do správneho fungovania. Pri odstraňovaní rušenia sa musia dôvody rušenia ako aj spôsob odstránenia zdokumentovať. Tieto informácie sa vyhodnocujú a umožňujú odstraňovanie slabých miest.

Preventívna údržba má za cieľ redukovať očakávané rušenia, a tým zvýšiť dostupnosť. K tomu patrí aj periodická fyzická kontrola siete /držba musí vychádzať z jasného konceptu, ktorý je vytvorený na základe štatistík rušení. Očakávaný úžitok sa musí dať do porovnania s nákladmi spojenými s touto činnosťou.

V káblovej sieti sa stáva, že napriek vyhodnocovaniu rušení a následnej pravidelnej údržbe dochádza k objavovaniu slabých miest. Tie musia byť potom analyzované a odstránené v rámci manažmentu zmeny, v na to dopredu určených časových oknách, kedy je možné sieť vypnúť.

## **2.6 Zvláštnosti dvojcestnej siete**

Pokiaľ v čisto doprednom prenose dát má dohľad a preventívna údržba relatívne podriadenú úlohu s pridaním spätného smeru sa stáva táto úloha omnoho komplexnejšou. Na rozdiel od čisto

---

dopredných sietí , kde rušenie na konci siete pôsobí pomerne lokálne často zasahujú len pôvodcu rušenia, v sieťach so spätným smerom sa rušenie pohybuje späť do siete a v najhoršom prípade môže viesť k ochromeniu celých buniek poskytujúcich služby ako internet či telefóniu.

## **2.7 Hľadanie chýb**

Hľadanie chýb v sieti je možné napríklad koreláciou informácii prípadne geografickým zobrazením. Koreláciou informácii rozumieme vyhodnocovanie neustále generujúcich signálov o stave v káblovej sieti s DOCSIS. Takýmto spôsobom si vieme spraviť obraz o stave jednotlivých vrstiev. Geografickým zobrazením rozumieme zaznačovanie určitých stavov jednotlivých častí siete na mapu s GIS (Geografický informačný systém).

## **2.8 Nasadenie Ingress blokerov**

Ingress Bloker je obyčajne nasadzovaný v miestach za posledným zosilovačom. Jedná sa o rýchly vypínač, ktorý je otvorený pre príchodzie dátové pakety v spätnom smere. Keďže modemy v TDMA vysielajú striedavo, otvára sa vždy iba jeden Ingress Bloker, ostatné blokujú spätný smer. Týmto sa dá dosiahnuť významné zlepšenie. Čím bližšie k účastníkovi, tým lepší účinok, avšak aj rast nákladov.

Ďalšie možné vlastnosti Ingress Blokerov:

- dohľad nad spektrom,
- štatistika paketov,
- vypnutie spätného smeru,
- meranie v doprednom a spätnom smere.

Vďaka pokročilým funkciám môže mať správca siete k dispozícii kompletný manažment prenosu dát v spätnom smere.

---

## 3 Analýza súčasného stavu televízneho káblového rozvodu

V časti analýza súčasného stavu televízneho káblového rozvodu, sa budem venovať popisu stavu televízneho káblového rozvodu (TKR) v Bánovciach nad Bebravou.

Systém TKR sa vyvinul z pôvodných spoločných televíznych antén (STA) ako účelný a optimálny prostriedok na distribúciu televíznych (TV) a rozhlasových (R) signálov bezprostredne k účastníkom - používateľom.

Sieť TKR musí spĺňať technické požiadavky (príjem signálov v rozličných sťažených podmienkach, napr. v miestach elektromagnetického tieňa, s viacnásobnými odrazmi a pod.), ale aj podmienky estetické (nie je potrebné mať parabolickú anténu) a bezpečnostné.

TKR sú vybudované vo všetkých častiach vyspelých krajín sveta. Použitá technológia sa samozrejme neustále modernizuje (aplikácia optických prvkov). TKR v súčasnosti neslúžia len šíreniu TV a R signálov, ale aj umožňujú prístup na internet, funkcie ako telefónia či telemetria.

Z hľadiska rozdelenia sa člení na primárnu, sekundárnu a terciárnu časť.

### 3.1 Použité zariadenia systému televízneho káblového rozvodu

Keďže analyzovaná sieť využíva optické prvky správne pomenovanie je hybridná opticko-koaxiálna rozvodová sieť. Využívanie optických prvkov má hlavne dôvody v zvyšovaní kapacity a výkonnosti TKR.

#### 3.1.1 Optická časť

V optickej časti TKR Bánovce nad Bebravou sú použité zariadenia firmy Arcodan.

Použité prvky: Optický vysielač typ 90023

Optický kábel typ LT 024SM-05A, resp. LT 012SM-05A

Optické prijímače typ 90062, 90064 (90071)

Hlavným prvkom optickej časti je optický vysielač typ 90023. Pracuje s laserom typu DFB, ten spĺňa nároky na technické parametre požadované pri konverzii elektrických signálov na svetelné vlny. Zabezpečuje dostatočný odstup nosných signálov od šumu a produktov nelineárnych skreslení. Výstupný optický výkon je 10 mW a vlnová dĺžka cca 1310 nm. Naviazanie svetelného vlnenia na optické vlákno je realizované rozpojiteľným optickým konektorom. Vstupný frekvenčný rozsah optického vysielača je 45-862 MHz, rozsah vstupných úrovní elektrických signálov je 75-87 dB $\mu$ V. Plynule nastaviteľný vstupný tlmiaci článok umožňuje reguláciu 0-15 dB, náklonový člen 0-6 dB. Optický vysielač má pri napájacom napätí 230 V príkon max. 16 W.

---

Ďalší prvok optickej časti je optický kábel typ LT 024SM-05A, resp. LT 012SM-05A prenáša modulované svetelné vlny z optického vysielača v hlavnej stanici ku trom optickým prijímačom, umiestneným v jednotlivých distribučných uzloch TKR. Optický signál je v hlavnej stanici rozbočený pomocou nesymetrického optického rozbočovača 2/6 dB a ďalej symetrickým rozbočovačom 3,6/3,6 dB do požadovaných troch smerov tak, aby výsledné tlmenia každej optickej trasy boli približne rovnaké (cca 9,7-9,9 dB). Kábel je vytvorený jednomódovými optickými vláknami s malým chromatickým rozptylom a veľmi malým tlmením (typicky 0,35 dB/km). Jednotlivé vlákna chránené primárnou syntetickou ochranou sú do optického kábla integrované spolu s ťahovými prvkami, ktoré zaručujú jeho dobré mechanické vlastnosti a samonosnosť. Vonkajší plášť kábla ako sekundárna ochrana zvyšuje jeho odolnosť voči zmenám prostredia.

Optický 24-vláknový (resp. 12-vláknový) kábel je ku podperným stĺpom pripevnený pomocou konzol zo špeciálnych špirálovitých príchytiek, ktoré umožnili vyťahovanie a inštaláciu kábla v dlhých neprerušovaných úsekoch bez nutnosti narušovania jeho celistvosti. Počas celej trasy je dodržaná zásada, že maximálna vzdialenosť medzi jednotlivými bodmi uchytenia optických i koaxiálnych káblov je cca 35-40 m (je vytvorená dostatočná pevnostná rezerva pri najnepriaznivejších možných mechanických namáhaniach). Minimálna výška optických a koaxiálnych káblov uchytených na stĺpoch je 7m. Pri pevných nerozoberateľných spojoch (zvaroch) treba počítať s prídavným tlmením spoja cca 0,05 dB, pri konektorových spojoch cca 0,15 dB.

Výsledný efekt siete formujú aj optické prijímače. V TKR Bánovce nad Bebravou boli ako je uvedené v úvode state typu 90062, 90064 (90071). Tieto zabezpečujú pomocou fotodiód PIN premenu svetelných vln z optického vlákna na elektrické signály; tieto sa musia zhodovať s elektrickými signálmi (frekvenčným multiplexom TV a VKV signálov) na vstupe optického prijímača v hlavnej stanici TKR. Jednotlivé typy prijímačov sa od seba líšia počtom výstupov a výstupným výkonom (typ. 92-110 dB $\mu$ V). Všetky typy prijímačov majú možnosť korigovať výstupné elektrické signály pomocou zásuvných vymeniteľných článkov (2; 4; 6; 10 dB) a diplexných frekvenčných filtrov. Filtrami sa upravuje šírka pásma spätného smeru (5-30 MHz; 5-42 MHz; 5-55 MHz; 5-65 MHz) a s tým súvisiaca šírka pásma priameho smeru (45-862 MHz; 54-862 MHz; 75-862 MHz; 87-862 MHz).

Uvedené optické prijímače sa vyznačujú dostatočnými vlastnosťami, ktoré zabezpečujú kvalitu prenášaných signálov.

Optické prijímače (spolu so zdrojmi diaľkového napájania) sú umiestnené v zemných plastových skrinách typ TKR-K2. Všetky káblové vstupy a výstupy sú do týchto skríň vedené zdola (chráničkami). Skrine TKR-K2 sú zabetónované, majú odnímateľnú prednú stenu s sú uzamknuté zámkami FAB.

---

### 3.1.2 Zosilňovače

K najsledovanejším rušivým javom v TKR patria okrem šumu nelineárne skreslenia; ich zdrojom sú v sieťach TKR aktívne prvky – zosilňovače, ktoré rozhodujúcim spôsobom určujú vlastnosti koaxiálnej časti siete. Preto bola počiatočná stratégia pri vytváraní siete použiť čo najmenšie množstvo za sebou zaradených zosilňovacích prvkov. Táto skutočnosť zabezpečuje zvýšenú kvalitu koaxiálnej časti siete.

V sieti sú použité trasové a koncové zosilňovače typu DZ 630. Tým je horný rozsah prenášaného pásma obmedzený na 600 MHz. V prípade potreby sa môže frekvenčný rozsah rozšíriť napr. do 862 MHz jednoduchou výmenou za kompatibilný zosilňovač DZ 860 (optická časť má frekvenčný rozsah 45-860 MHz, pasívne prvky koaxiálnej siete 5-1000 MHz). Osadené sú výkonnými hybridnými integrovanými obvodmi BGY (MHW), ktoré svojou obvodovou koncepciou (symetrické samočinné zapojenie) zabezpečujú vysoké odstupy od IM produktov. Zosilňovače sú vybavené vstupným tlmiacim článkom (0-20 dB) a nastaviteľným náklonovým členom (0-18 dB). Striedavé napájacie napätia zosilňovačov DZ sú pri diaľkovom napájaní v rozsahu cca 30-35V, prúdový odber je max. 0,35 A.

### 3.1.3 Koaxiálne káble

Okrem veľkosti merného tlmenia určuje kvalitu koaxiálnych káblov aj homogenita ich vlnovej impedancie. Odrazy signálov na impedančných nehomogenitách vnútri káblov a na spojeniach káblov – zosilňovač/pasívny prvok spôsobujú nelineárne skreslenie frekvenčných charakteristík prenosového systému, t.j. rozvlnenie amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky a frekvenčnej charakteristiky skupinového oneskorenia.

Pri nesplnení požiadaviek na dobré impedančné prispôsobenie (nevhodné prvky, nesprávna montáž konektorov, narušenie impedancie kábla poškodením jeho geometrických rozmerov, napr. stlačením alebo ohnutím pod minimálny dovolený polomer ohybu apod.) dochádza vplyvom zväčšeného lineárneho skreslenia ku zhoršeniu kvality prenášaných signálov. Prejaví sa to napríklad zvýšením chybovosti teletextu, zhoršením ostrosti obrazu, rozmazaním farebných prechodov, pri väčších oneskoreniach signálu posunutím obrazu – „duchmi“.

Z uvedených dôvodov sú káble použité v TKR Bánovce nad Bebravou od renomovaných výrobcov. Prípojky v interiéroch domov sú realizované ohybným bielym káblom VCCKY 75-4,8 (VUKI Bratislava). Základné vlastnosti týchto káblov sú uvedené v tabuľke 4.

Tabuľka 3.1: Vlastnosti použitých káblov

Typ kábla	QR 540 JCAM109	11F(TA)PM	VCCKY 75-4,8
max. tlmenie pri 50 MHz	1,4 dB/100m	3,1 dB/100m	4,2 dB/100m
max. tlmenie pri 160 MHz	5,4 dB/100m	10,4 dB/100m	17,0 dB/100m
min. polomer ohybu	16,5 cm	6,0 cm	3,0 cm
priemer nosného drôtu	2,77 mm	1,83 mm	-
min. pevnosť v ťahu	8160 N	1660 N	-
vonkajší priemer kábla	15,5 mm	10,0 mm	6,9 mm
max. odpor v slučke	0,53 $\Omega$ /100m	6,0 $\Omega$ /100m	-

Použité samonosné káble majú robustnú konštrukciu – vnútorné jadro je tvorené oceľovým pomedeným drôtom s priemerom 3,15 mm (resp. 1,63 mm), penové polyetylénové dielektrikum je špeciálnym technologickým postupom prilepené na vnútorné jadro a vonkajšie jadro je kompaktná bezšvová hliníková rúrka. Napriek tejto robustnej konštrukcii sú káble uchytené na podpery tak, aby sa zamedzilo ich kmitaniu napr. vplyvom vetra. Kmitanie môže spôsobiť únavový kruhový lom po obvode vonkajšieho jadra (Al-rúrky). Takéto skryté poruchy kábla sa prejavajú ako degradácia kvality signálov predovšetkým v dolnej časti prenášaného frekvenčného pásma, resp. impulznými poruchami napájania (ak káblom tečie napájací prúd).

#### 3.1.4 Pasívne prvky

Z dôvodov uvedených v článku 2.2.3 (vplyv impedančného prispôsobenia prvkov na lineárne skreslenie) sú použité v TKR na rozbočovanie a odbočovanie signálov len pasívne prvky, t.j. rozbočovače a odbočovače, ktoré majú v celom prenášanom frekvenčnom pásme 5-600 MHz tlmenie odrazu na všetkých portoch minimálne 20 dB. Pri sekundárnych prvkoch sú to zariadenia firiem Phoenix Communication Technologies (PCT), resp. Scientific Atlanta (USA). Tieto prvky umožňujú jednoduchou úpravou vnútornej konfigurácie (zásuvnými poistkovými mostíkmi) aj diaľkové napájanie v hlavnom smere signálu i v smere odbočenia (len pri odbočovačoch so smerovou väzbou s konektormi 5/8“), resp. umožňujú v prípade potreby prerušenie napájania. Vyznačujú sa vysokým odstupom hlukovej modulácie (min. 64-70 dB) a dobrým oddelením výstupov, ktoré umožňuje dosiahnuť požadované minimálne oddelenie 42 dB medzi jednotlivými účastníckymi zásuvkami.



---

Prechodom VF signálov rozbočovačmi a odbočovačmi dochádza k ich utlmovaniu, v závislosti od frekvencie a spôsobu rozbočovania (odbočovania) signálu. Rozbočovače sú ku káblom v sieti TKR zapojené svojimi konektormi.

V terciárnych sieťach (domových rozvodoch) sú vzhľadom na najvyššie úrovne prenášaných signálov použité pasívne prvky s vysokým tlmením tienenia (kompaktné celokovové krytie) výrobcu ZTV Banská Bystrica, resp. Tratec (Francúzsko) alebo Regal (USA).

Odbočenia a rozbočenia koaxiálnych káblových trás ku jednotlivým objektom sú realizované pasívnymi prvkami umiestnenými v ochranných plastových skrinách typu Luca na podperných stĺpoch. Sú použité štyri veľkosti týchto skríň, podľa konkrétneho prípadu odbočenia/rozbočenia. Skrine sú umiestnené v takej výške, aby sa minimalizovalo riziko neoprávneného vniknutia (zvyčajne 3-3,5 m nad okolitým terénom). Sú upevnené skrutkami na špeciálnych konzolách z profilovej ocele a sú uzamknuté zámkou FAB. Káble vstupujú do skríň zospodu. Ak je v skrini okrem pasívnych prvkov zosilňovač, je pripevnený na kovovom paneli.

### 3.1.5 Ostatné vlastnosti TKR

Všetky prvky majú zaručené tlmenie tienením min. 65 dB, zaisťujú teda dobrú vysokofrekvenčnú tesnosť systému. TKR má nielen nízke VF vyžarovanie, ale aj zároveň dostatočnú odolnosť voči vnikaniu nežiadúcich signálov a rušenia (napr. priemyselného charakteru) z okolitého prostredia do káblových sietí. Schopnosť TKR pracovať bez poruchy a bez zníženia kvality prenášaných signálov za prítomnosti rušenia prichádzajúcich z okolia je pri stále sa zvyšujúcej intenzite elektromagnetického smogu, jedným z dôležitých kritérií posudzovania funkčnej spôsobilosti systému.

Zdroje striedavého diaľkového napájania 50 V sú zaťažované tak, aby nedochádzalo k ich nadmernému otepľovaniu. Sú spolu s optickými prijímačmi umiestnené v uzamknutých zemných skrinách a sú samostatné istené.

## 3.2 Technické vlastnosti a parametre siete

Systém EuroDOCSIS je postavený na rozvodoch koaxiálnej siete poskytujúcej prenos televíznych a rádiových signálov. Preto je dôležité, že parametre TKR budú v doporučených rozmedziach. V zásuvke koncového užívateľa by malo byť hodnota úrovne televízneho signálu pre analógové programy medzi 57 dBμV až 80 dBμV. Ďalším parametrom je dostup signálu od šumu aj produktov intermodulačného skreslenia na konci každej vetvy siete. Zvyšovanie úrovne šumu a úrovni nelineárneho skreslenia v kaskáde zosilňovačov vedie ku zmenšovaniu dynamického rozsahu celého systému. Pokiaľ nemá signál dostatočný odstup od šumu C/N (carrier/noise) alebo od zhlukov intermodulačných produktov 2. Rádu C/CSO (carrier/composite second order), respektíve do zhlukov

---

intermodulačných produktov 3. Rádu C/CTB (carrier/composite triple beat), prípadne všetkých uvedených rušení naraz, je jeho kvalita nevyhovujúca.

Parametre TKR:

- frekvenčné pásmo – v priamom smere: 87 – 606 MHz
- programová kapacita siete: 42 kanálov TV v pásme 126-606 MHz  
30 kanálov VKV v pásme 87 – 108 MHz  
16 digit. rozhlas. signálov (111 – 125 MHz)

CCIR – D, K, B, G (SECAM, PAL)

- norma TV signálov: 60 – 74 dB $\mu$ V
- rozdiel úrovni TV signálov: max. 12 dB (v pásme 126 – 606 MHz)  
max. 3 dB (susedné kanály)
- úrovne signálov VKV: 50 – 70 dB $\mu$ V
- odstup TV signálu od šumu C/N: min. 44 dB
- odstup VKV signálu od šumu: min. 48 dB
- odstup TV signálu od IM produktov 3. Rádu: min. 60 dB
- odstup TV signálu od IM produktov 2. Rádu: min. 58 dB
- odstup TV signálu od hluku: min. 46 dB
- vzájomné oddelenie medzi úč. zásuvkami: min. 42 dB

Meraním úrovne televízneho signálu a pomeru signálu od šumu k nosnej C/N, overím v tejto kapitole parametre, ktoré je nutné sledovať aj v prípade poskytovania služby prenosu televízneho signálu aj v prípade nasadzovania systému EuroDOCSIS.

Meranie bolo prevedené na troch rôznych televíznych prípojkách v rôznych lokalitách, ktoré majú rôznu vzdialenosť od hlavnej stanice. Meranie bolo prevedené na vždy na rovnakých kanáloch uvedených v tabuľke.

Tabuľka 3.2: Prehľad meraných kanálov

Kanál	Frekvencia	TV stanica
<b>R10</b>	207,25	DVOJKA
<b>R12</b>	223,25	JEDNOTKA
<b>S23</b>	319,25	MUSIQ1
<b>S25</b>	335,25	VIASAT HISTORY

Tabuľka 3.3: Meranie vlastností TV signálu

TV prípojka	Kanál	Úroveň signálu [dBμV]	C/N [dB]
<b>Ul. Kukučínova</b>	R10	59	61
	R12	63	60
	S23	61	60
	S25	62	59
<b>Ul. Novomestského</b>	R10	65	64
	R12	67	63
	S23	65	64
	S25	61	60
<b>Ul. Gorazdova</b>	R10	63	59
	R12	63	62
	S23	62	64
	S25	68	60

Meranie bolo realizované na zapožičanom meracom prístroji TM-3000. Na základe merania môžeme konštatovať, že sledované parametre siete sú v požadovanom rozmedzí.



*Obr. 3.1 Merací prístroj TM-3000*

### **3.3 Legislatíva a normalizačná základňa TKR**

TKR spĺňa požiadavky súčasnej legislatívy a noriem. Legislatíva hlavne upravuje spôsob poskytovania služieb, resp. povolenie na šírenie TV a R signálov. Túto časť popisuje zákon NR SR č. 195/2000 Z.z. o telekomunikáciách. Napriek tomu, že podľa §4 ods. 5 sú „telekomunikačné zariadenia umožňujúce šírenie signálov R a TV signálov“, súčasťou verejnej telekomunikačnej siete, nie je potrebná licencia vydaná TU SR na „zriaďovanie a prevádzkovanie verejných telekomunikačných sietí, určených na jednosmerné šírenie r a TV signálov po vedení“. Toto umožňuje všeobecné povolenie č. VPT-1/2001.

Ďalšie zákony, ktoré je potrebné spĺňať v prípade TKR je: Zákon NR SR č. 308/2000 Z.z. o vysielaní a retransmisii a Zákon NR SR č. 383/1997 Z. z. (Autorský zákon).

Systémy TKR boli navrhnuté, aby spĺňali nasledujúce normy:

- a) STN EN 50083, časť 1 až 10: Káblové siete pre televízne signály, rozhlasové signály a interaktívne služby

Tieto slovenské harmonizované technické normy stanovujú požiadavky na systémy aj na jednotlivé zariadenia TKR.

- b) STN 36 7211, časť 1 a 2: Spoločný príjem a rozvod TV a R signálov
- c) Táto norma platí od r. 1992 je postupne nahradzovaná vyššie uvedenými normami STN EN 50083

V súčasnosti sú tieto normy nahradené normou STN EN 60728-1:2009-01.

---

## 4 Vypracovanie postupu zavádzania a testovania technológie

Zavádzanie nových digitálnych technológií do prístupových sietí a do spojovacieho procesu je cieľom každého operátora verejných telekomunikačných sietí. Tým môže ponúkať viac digitálnych služieb a osloviť viac potenciálnych zákazníkov.

V nasledujúcej kapitole sa budem venovať popisu krokov, ktoré by boli potrebné pre zavedenie systému EuroDOCSIS.

V súčasnosti poskytuje služby distribúcie TV a R signálu Bytové družstvo Bánovce nad Bebravou cca 4500 zákazníkom. Pri návrhu budem vychádzať z toho, že nie každý súčasný zákazník bude mať záujem o pripojenie do internetu. Pre reálnu predstavu nasadenia siete budem predpokladať pripojenie 1000 zákazníkov pre odobranie služby pripojenia do internetu. Od počtu zákazníkov, ktorý budú odberať službu pripojenia do internetu bude potrebné zvoliť nákup prenosovej kapacity od niektorého z poskytovateľov vysokorychlostných internetových prípojok pre veľkých zákazníkov. Na trhu je niekoľko etablovaných firiem ako Energotel, SWAN či T-COM.

Postup rozdelím do niekoľkých bodov, ktoré bude potrebné realizovať, aby bolo možné zaviesť technológiu EuroDOCSIS.

Vychádzajúc z analýzy súčasného stavu TKR bude potrebné:

1. Doplniť respektíve vymeniť zosilňovače DZ630,
2. doplnenie neexistujúceho zosilnenia spätného smeru,
3. nákup samotného hardwaru a softwaru potrebných pre fungovanie EuroDOCSIS.

Po návrhu spomenutých bodov, navrhmem pripojenie pre testovanie prevádzky konkrétneho bytového domu a následne možnosti testovania skúšobnej prevádzky.

### 4.1 Doplnenie spätného smeru do siete TKR

Zavedenie technológie EuroDOCIS do existujúcej siete predovšetkým vyžaduje taký stav TKR, ktorý umožní prenášať dáta na požadovaných frekvenciách. Ako je uvedené v kapitole 1.1 frekvenčný rozsah EuroDOCSIS je od 5 do 862 MHz. Na základe analýzy v predchádzajúcej kapitole sme zistili, že stav TKR je absolútne postačujúci pre potreby systému EuroDocsis 2.0. Potrebná je výmena, respektíve, doplnenie zosilňovačov pre zosilnenie celého rozsahu frekvencií a doplnenie zosilnenia spätného smeru. Pre doplnenie spätného smeru v optickej časti siete je nutné doplniť vysielače spätného smeru, ktoré doteraz v sieti neboli potrebné. Prenášaný signál smeroval len ku koncovým užívateľom. Už pri pokladaní optickej časti siete boli uložené rezervné vlákna, ktoré je teraz možno použiť pre spätný smer.

---

Na trhu je niekoľko výrobcov, ktorý poskytujú výrobky orientované na systémy EuroDOCSIS. Pri výbere potencionálnych dodávateľov som prihliadal hlavne na kvalitu, ktorú som overoval hlavne na internetových fórach, veľkosť ponuky ako aj zázemie a históriu spoločnosti. Prvky pre doplnenie som vyberal podľa parametrov pôvodných prvkov, tým bude zabezpečené fungovanie siete. Dôležitú úlohu hrá aj to či sa výrobca venuje nielen zosilňovačom pre koaxiálnu časť ale aj prvkom pre optickú časť siete. Do užšieho výberu som zaradil nemeckú firmu DELTA ELECTRONICS a výrobca VECTOR, ktorý má najbližšie zastúpenie v Poľsku . Obidve tieto firmy ponúkajú široký sortiment výrobkov. Pre môj návrh som však vybral firmu VECTOR. Posledným argumentom pri výbere bola aj cena, ktorá v prípade poľského výrobcu nižšia

#### 4.1.1 Zosilňovače pre koaxiálnu časť siete

Ako som už spomenul súčasné zosilňovače DZ 630 nezosilňujú signál prenášaný koaxiálnymi káblami v dostatočnom rozsahu, tieto zosilňovače je možné vymeniť za DZ 860 od toho istého výrobcu, tieto však nepodporujú zosilnenie spätného smeru, museli by sme použiť premostenie a doplniť zvlášť zosilňovač pre spätný smer. Preto volím radšej zosilňovač, ktorý dokáže priamo zosilniť aj spätný smer.

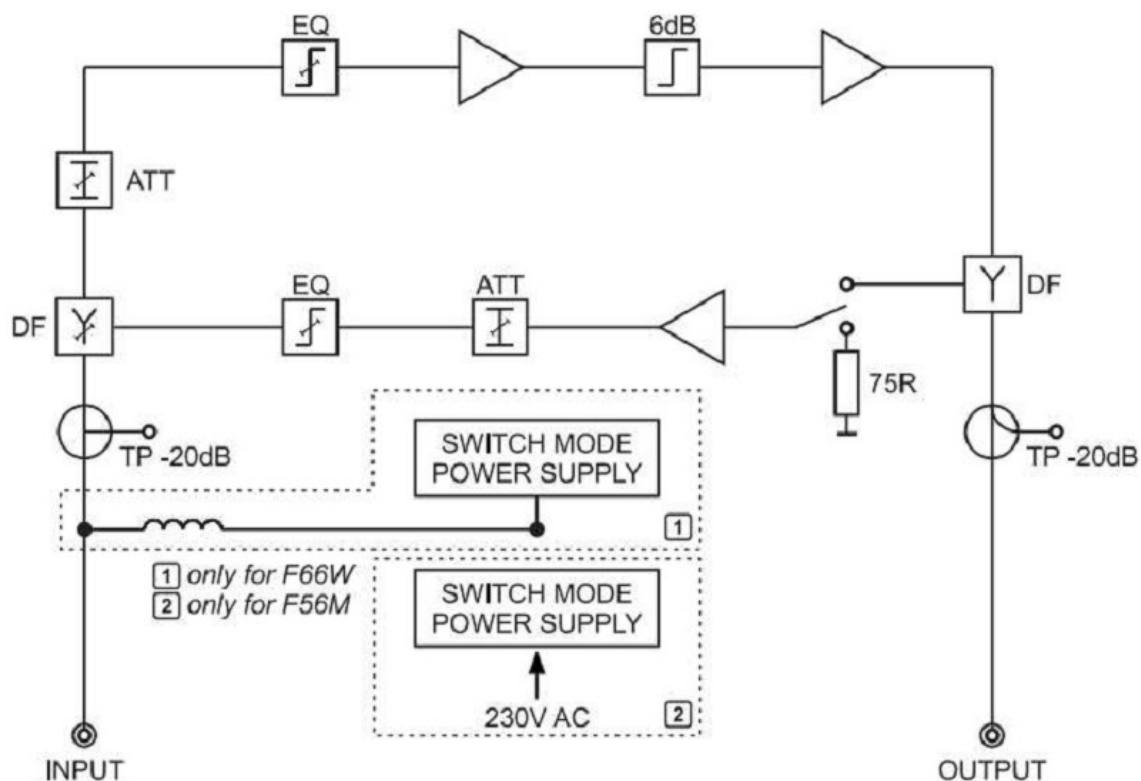
Z produktov spoločnosti VECTOR najlepšie vyhovuje Ar-Ga zosilňovač LAMBDA PRO 20. Vyznačuje sa mnohými vhodnými vlastnosťami. Je navrhnutý tak, aby splňal požiadavky širokopásmových sietí. Má nízku spotrebu a umožňuje vzdialené napájanie. Kompaktná veľkosť zosilňovača umožňuje inštaláciu jednotiek v malých skrinách. Tieto zosilňovače majú vysokú odolnosť proti nepriaznivým vonkajším vplyvom.

Technické parametre zosilňovača uvádzam v obrázku č. 9. Zosilňovač podporuje zosilnenie v doprednom smere od frekvencie 85MHz až po 862MHz, ako aj zosilnenie spätného smeru od frekvencie 5 MHz do 65 MHz. Zvolený zosilňovač má nižší šum ako 8,5 dB čo je menej ako súčasné DZ 630.



RF PARAMETERS		
<b>Forward Channel</b>		
Bandwidth	85 + 862	MHz
Gain @862MHz	36 ± 1	dB
Noise figure <sup>1</sup>	< 8,5	dB
Flatness <sup>2</sup>	± 0.75	dB
Slope <sup>3</sup>	6 ± 1	dB
Output level <sup>4</sup> :		
CTB ≤ -60 dBc	109	dBμV
CSO ≤ -60 dBc	108	
Return loss <sup>5</sup>	> 18	dB
Input testpoint (bi-directional)	-20 ± 1.5	dB
Output testpoint (directional)	-20 ± 1	dB
<b>Reverse Channel</b>		
Bandwidth	5 + 65	MHz
Flatness	± 0.75	dB
Gain:		
LAMBDA PRO 20	20 ± 1	dB
LAMBDA PRO 22	24.5 ± 1	
HUM modulation <sup>1</sup>	≤ - 60	dBc

Obr. 4.1 Zosilňovač LAMBDA PRO 20 (technická špecifikácia)



Obr. 4.2 Bloková schéma zapojenia zosilňovača LAMBDA PRO 20

Na obrázku vidno, že na zosilňovači môžeme plynule nastavovať náклон signálu ako aj zisk. Na vstupe aj výstupe sa nachádzajú merné body.

Zosilnenie dopredného aj spätného smeru v koaxiálnej časti je vyriešené, ešte sa musí zabezpečiť zosilnenie spätného aj v poslednej časti siete a teda v optickej časti.

#### 4.1.2 Spätný smer pre optickú časť siete

Optická časť ako je popísané v kapitole 2.1 nemá vybudovaný spätný smer potrebný pre prenos dát smerom k CMTS. Pre doplnenie sa využijú rezervné nepoužívané vlákna a doplnia respektívne vymenia sa príslušné vysielacie.

Pre potrebu zosilnenia spätného smeru boli vybraté opäť produkty od poľskej spoločnosti VECTOR. Konkrétne sa jedná o optické NOD-y GAMMA U22. Konkrétne GAMMA U8X-22A-AE8 je širokopásmový distribučný zosilňovač určený pre HFC siete s podporou diaľkového napájania 12A. Podporuje veľmi vysokú úroveň RF výstupu s nízkym intermodulačným rušením, pri nízkej spotrebe energie. Viacstupňová prepäťová ochrana zvyšuje životnosť zariadenia a tým aj spoľahlivosť siete.





## RF PARAMETERS

### Forward Channel

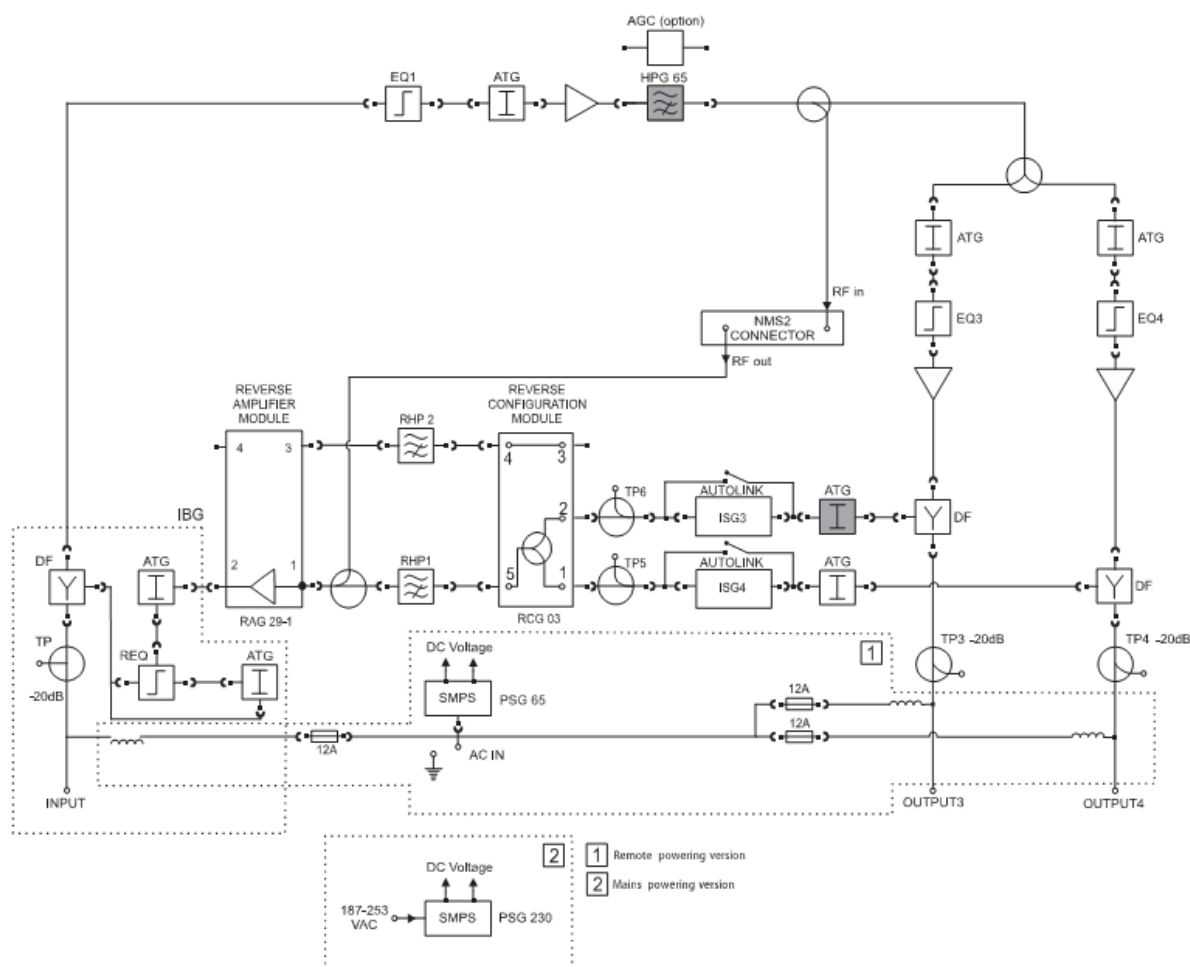
Bandwidth	47...85 ÷ 862	MHz
Gain @862MHz	2 x 38 ± 0.75	dB
Noise figure <sup>1</sup>	< 7	dB
Flatness <sup>1</sup>	± 0.75	dB
Slope <sup>1</sup>	± 1	dB
Output level <sup>2</sup> :		
CTB ≤ -60 dBc	114	dBμV
CSO ≤ -60 dBc	112	dBμV
Return loss <sup>3</sup>	18	dB
Input testpoint (bi-directional)	-20 ± 1.5	dB
Output testpoints (directional)	-20 ± 1	dB

### Reverse Channel

Bandwidth	5 ÷ 30...65	MHz
Flatness	± 0.75	dB
Return loss	18	dB
Gain	22 ± 0.75	dB
HUM modulation @12A [dBc]	5 ÷ 15MHz	≤ -55
(remote powering)	15 ÷ 65MHz	≤ -60
	85 ÷ 862MHz	≤ -60
HUM modulation [dBc]		≤ -70
(mains powering)		

Obr. 4.3 Optický NOD GAMMA U22 (technická špecifikácia)

Bloková schéma NOD GAMMA U22 popisuje, že vstupuje jeden koaxiálny signál a na výstupe vychádza zosilnený oddelený signál pripravený pre prenos cez optickú časť siete.



Obr. 4.4 Bloková schéma NOD GAMMA U22

Pre doplnenie optických vysielateľov a prijímačov odporúčam nakúpiť zariadenia od firmy VECTOR. V prípade podpory je výhodné mať jedného dodávateľa. V neposlednom rade je výhoda znížiť nákupné ceny pri odbere väčšieho množstva produktov.

Pre prenos spätného signálu oddeleného v NOD GAMMA U22 som zvolil optický vysielateľ LFDT3515C, ktorý podľa katalógového listu [10] prenáša dáta v rozsahu 5-65 MHz. Ako prijímač som zvolil LFSR AR3001 [10], ktorý vie spracovať signál v rozmedzí 5-225 MHz. Obidva tieto rozsahy postačujú, keďže spätný smer má rozsah frekvencií 5-65 MHz.

Ako sme v kapitole 2 zistili v sieti sú použité optické prvky staršej konštrukcie, aj keď postačujú pre naše účely, v prípade poškodenia odporúčam výmenu za optický prijímač LFDR AR3002G [10], ktorý prijíma frekvencie od 46 do 1002 MHz a ako optický vysielateľ LFOT AT3312G [10], ktorý má rovnaký rozsah ako prijímač.

---

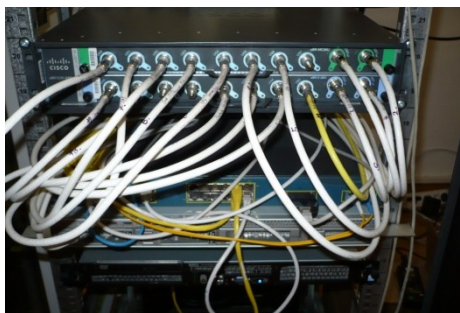
V návrhu uvažujem pre potreby pripájania optických zariadení využívanie optických konektorov s maximálnym vložným útlmom 0,5dB.

## 4.2 CMTS a modem

Po návrhu potrebných prvkov pre úpravu siete nasleduje časť prvkov samotného systému EuroDOCSIS 2.0. Už v úvode som spomenul, že výrobe zariadení sa venuje viacero veľkých spoločností. Keďže systém EuroDOCSIS 2.0 nie je posledná verzia, je dôležité vybrať spoločnosť s dostatočnou podporou aj pre staršie zariadenia. Z pohľadu dostupnosti a ostatných spomenutých parametrov som zvolil výrobcu CMTS spoločnosť CISCO.

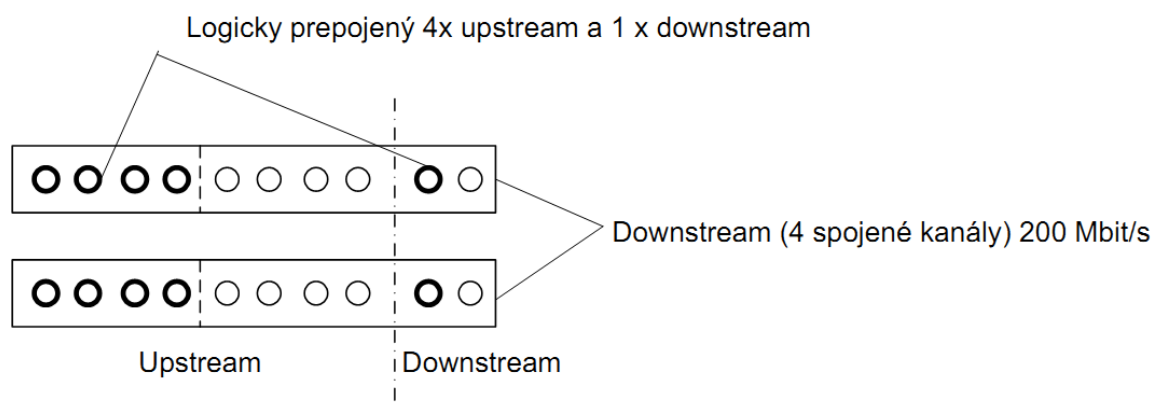
Chasi CMTS je model uBR7225 doplnený dvomi kazetami uBR-E-28U [7,8].

CMTS je modulárne zariadenie strednej úrovne od výrobcu Cisco. Ponúka vysokú spoľahlivosť, podporu vysokorýchlostných dátových, hlasových a video služieb. Vyžaduje nízke investície pričom podporuje pripojenie až 5000 účastníkov.



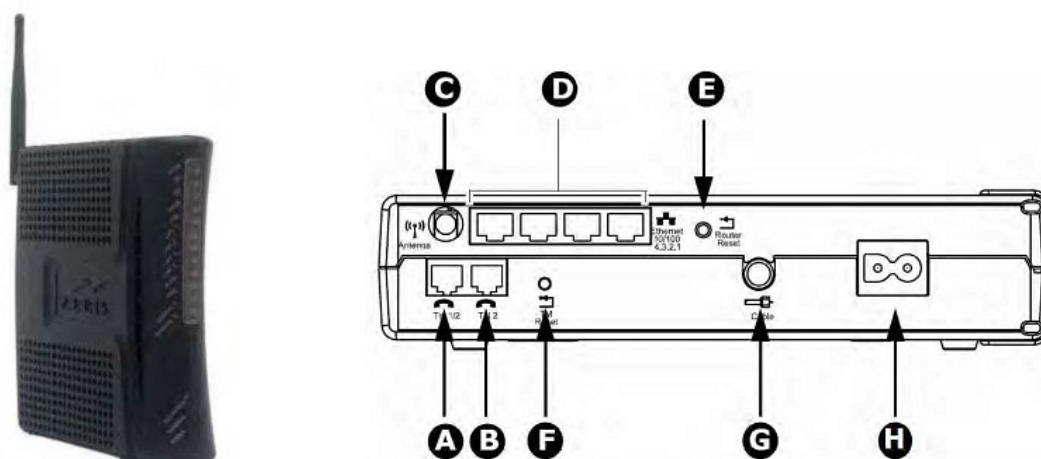
*Obr. 4.5 Cisco uBR7225 CMTS, univerzálny širokopásmový router*

Zásuvné moduly Cisco uBR-E-28U sa skladajú z ôsmich upstream a dvoch downstream portov. Každý zo štyroch downstream kanálov, ktoré vysielať dáta smerom k modemom majú prenosovú kapacitu 50 Mbit/s. Spolu je teda prenosová kapacita siete smerom k účastníkom max. 200Mbit/s. Štyri upstream a jeden downstream kanál vždy spolupracujú. Upstream kanály prijímajú požiadavky od modemov a tie následne vybavuje spolupracujúci downstream kanál. Preto treba pri zapájaní kanálov dbať na správne geografické zapojenie.



Obr. 4.5 Zásuvné moduly Cisco uBR-E-28U

Káblový modem [9], ako je spomínané už v úvodnej časti práce, je veľmi dôležitý prvok. Jedná sa vlastne o prvok, ktorý je akýsi prevodník medzi signálmi prenášanými koaxiálnymi káblami a štandardnou počítačovou sieťou. V sieti budú používané modemy od spoločnosti ARRIS, ktoré spĺňajú štandardy pre prenos dát pomocou EuroDOCSIS 2.0. Na výber pre koncových užívateľov budú dva typy káblových modemov. Základný modem a router s WIFI a VoIP. Modem je možné konfigurovať pomocou webového rozhrania ako aj bežný povedzme xDSL modem. Teoretická prenosová rýchlosť tohto modemu je 50 Mbit/s.



Obr. 4.6 Káblový modem WTM552B s podporou WIFI, routa a VoIP, prehľad konektorov zadnej strany modemu

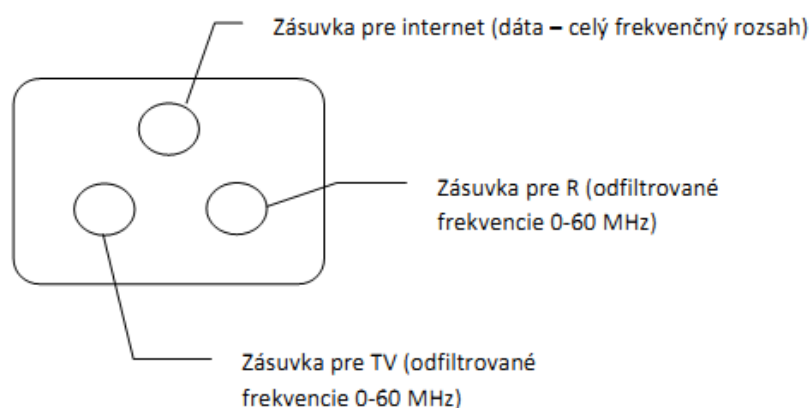
Popis jednotlivých častí zadnej strany modemu:

- A, B – RJ-11 pripojenie telefónu
- C – WIFI anténa
- D – RJ-45, ethernetové 10/100 konektory 1 až 4.

- E – tlačidlo RESET modemu
- F – tlačidlo RESET telefónneho pripojenia
- G – koaxiálny kábel
- H – napájanie

### 4.3 Dátová zásuvka

Dôležitým doplnením pôvodnej TKR je výmena pôvodných zásuviek za dátové, ktoré filtrujú frekvenciu pre spätný smer (0-65 MHz) v časti pre pripojenie k TV a R.



Obr. 4.7 Dátová zásuvka

Celý systém je po zavedení zosilnenia spätného smeru veľmi citlivý na dodržanie odfiltrovania týchto frekvencií. Ak by sa frekvencie pre spätný smer nefiltrovali, šum, ktorý by sa týmto spôsobom dostal cez zosilňovače až nakoniec k CMTS, by znemožnil komunikáciu. CMTS by pre vysoký šum nerozoznalo požiadavky od modemov a tým pádom by s modemami ani len nenadviazalo spojenie.

Z tohto dôvodu je sieť náchylná na neodborné zásahy a použitie necertifikovaných prvkov v celej sieti. Na primárnej a sekundárnej trase takéto problémy v zásade ani nemôžu nastať, pretože k jednotlivým častiam má prístup len správou poverený personál. Častejšie je možné, že dôjde k nekvalifikovanému zásahu v terciálnej časti siete a konkrétne v bytových jednotkách koncových užívateľov. Hrozia neodborné zásahy do dátovej zásuvky, ako napríklad manipulácia s tlmiacimi článkami, prípadne po domácky vyrábané koncovky, či odbočky.

### 4.4 Zapojenie siete

Po návrhu prvkov potrebných pre prispôbenie TKR na zavedenie systému EuroDOCSIS, uvádzam na obrázku č. 13 návrh zapojenia vrátane spätného smeru. Systém bude postavený na jednom

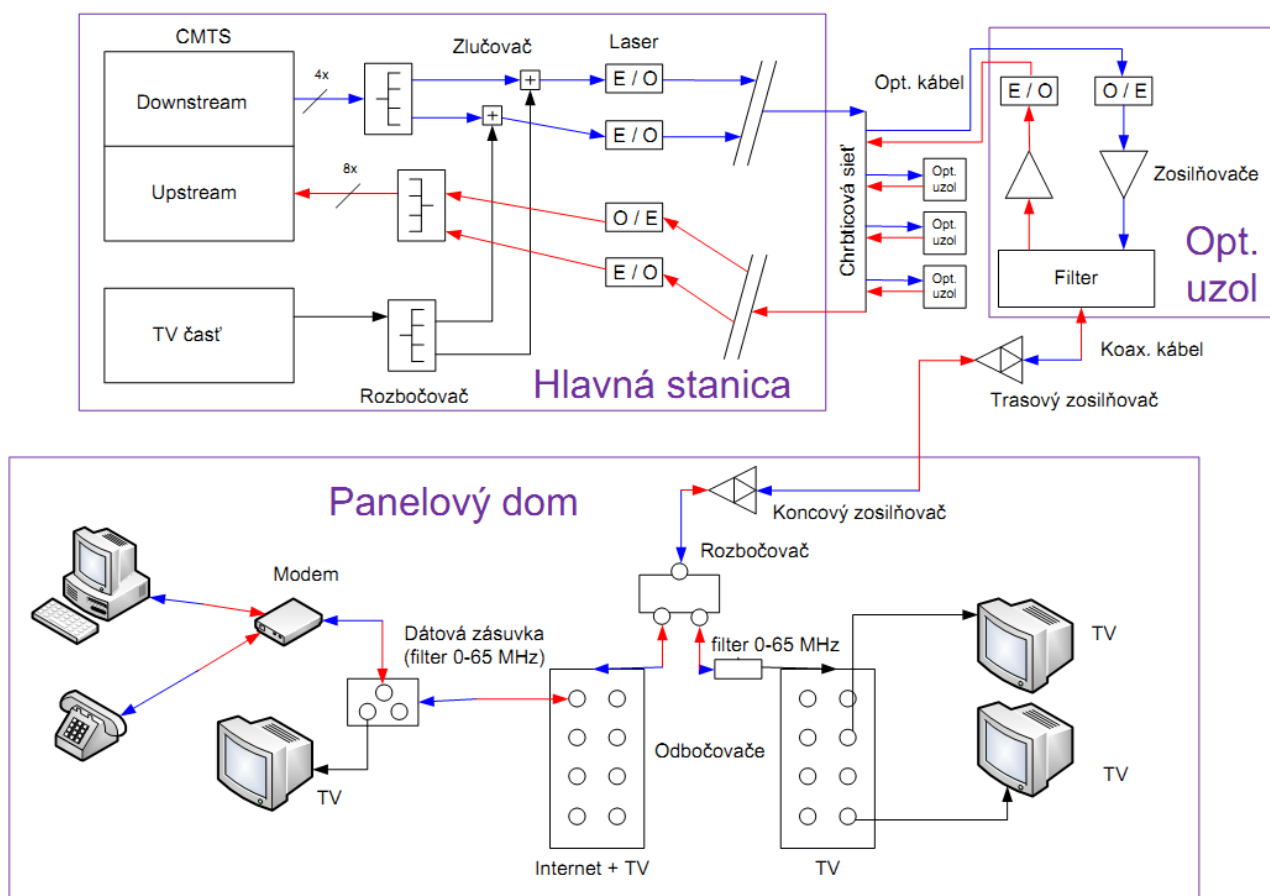
---

CMTS, keďže kapacitne zvládne komunikovať s 5000 modemami. CMTS sa spolu so zariadeniami na prenos televízneho a rádiového vysielania, zariadeniami potrebnými pre dátové prenosy, sa bude nachádzať v hlavnej stanici. Z tohto miesta vychádzajú a končia optické kable. Každé optické vlákno bude pripojené pomocou optického konektora. Hlavná stanica bude pripojená priamo do internetu pomocou vybraného poskytovateľa internetu.

Systém bude mať teda dve smery jeden dopredný, ktorý bude plniť požiadavky vyslané káblovým modemom v spätnom smere. Dáta odchádzajú z CMTS pomocou koaxiálnych káblov následne sú zlučované s televíznymi a rádiovými signálmi. Dáta sú po rozbočení do určených vetiev prevádzané na optický signál optickými vysielacími do optických vlákien.

Na primárnu časť sa pripájajú optické uzly. Každý dvomi optickými káblami v doprednom a dvomi v spätnom smere. Jeden v každom smere slúži ako záloha. Optický uzol bude tvorený optickým prijímačom a vysielateľom ako aj príslušným zosilňovačom pre dopredný aj spätný smer a útlmovými členmi.

Z optického uzla sa ďalej už šíri signál koaxiálnym káblom, ktorý je zosilňovaný trasovým zosilňovačom. Posledný zosilňovač bude umiestnený pri vstupe do budovy, ktorý upravuje signál do požadovanej úrovne. Za zosilňovačom sa budú nachádzať filtre pre oddelenia spätného smeru. Za filtrom, ktorý oddeľuje signál pre spätný smer teda od 5 do 65 MHz budú pripojení len zákazníci, ktorí majú záujem len o príjem televízneho a rádiového signálu. Nefiltrovaný signál bude určený pre zákazníkov, ktorí majú záujem o internetovú službu a samozrejme aj príjem televízneho a rádiového signálu. U zákazníka sa potom vymení pôvodná zásuvka za popísanú dátovú zásuvku, na ktorú bude signálom napájaný káblový modem, TV a rádio. Na káblový modem bude možné následne pripojiť počítač a telefónne zariadenie.



Obr. 4.8 Prehľad siete so zosilneným spätným strom

## 4.5 Rozdelenie prenosovej kapacity

Stanoviť jednoznačne rýchlosť prenosu dát na navrhnutej sieti, ale aj všeobecne na sieti TKR so systémom EuroDOCSIS je veľmi náročné. Závisí od množstva faktorov ako štruktúra káblovej siete, použitá modulácia, úroveň signálu a šumu ako aj počet zákazníkov pripojených na jeden optický uzol a aká prenosová kapacita je mu priradená. Už v tabuľke č. 1 uvádzam maximálne prenosové rýchlosti. Maximálna hodnota v Downstreame je 50 Mbit/s a Upstreame je 27 Mbit/s. Tieto hodnoty zodpovedajú jednému prenosovému kanálu. Pokiaľ by mal mať zákazník k dispozícii prenosovú rýchlosť 50 Mbit/s musel by byť pripojený ako jediný na jeden prenosový kanál. V reálnych podmienkach však tento kanál zdieľa niekoľko modemov a tým sa prenosová rýchlosť znižuje.

Rozdelenie prenosovej kapacity a teda aj logické a geografické zapojenie jednotlivých častí siete k hlavnej stanici by malo byť na základe rozhodnutia aké prenosové rýchlosti bude chcieť poskytovateľ služby ponúkať. Čím vyššie rýchlosti chce garantovať o to musí menej modemov zdieľať jeden prenosový kanál. Do úvahy treba brať aj to, že zaťaženie siete bude v čase rozdielne. Maximálna celková hodnota záťaže bude výsledkom súčtu čiastkových maximálnych zaťažení alebo

---

inak povedané ponúkaných prenosových rýchlostí. V praxi poskytovatelia internetu dimenzujú poskytovanie svojich služieb na akúsi priemernú hodnotu zaťaženia a neskôr v reálnej prevádzke ju môžu prispôbiť.

Cieľom tejto kapitoly je na základe predošlých úvah upozorniť pri návrhu rozloženia siete na vhodné rozdelenie prenosovej kapacity, pretože rozmiestnene prípadných užívateľov internetu určite nebude rovnomerné. Nasledujúce prepočty budú mať len orientačnú výpovednú hodnotu, ktorá by mala budúcemu poskytovateľovi služby pripojenia k internetu pomôcť v úvahách pri konkrétnom rozhodovaní pri realizácii implementácie systému EuroDOCSIS.

Pri prepočtoch budem vychádzať z mojej úvahy zo začiatku kapitoly. Pre prehľad zhrniem potrebné údaje:

*Tabuľka 4.1: Prenosová kapacita navrhovanej siete*

<b>Prenosová kapacita CMTS</b>			
	<b>Počet kanálov</b>	<b>Prenosová kapacita</b>	<b>Prenosová kapacita spolu</b>
<b>Dopredný smer</b>	4	50 Mbit/s na 1 kanál	200Mbit/s
<b>Spätný smer</b>	8	27 Mbit/s na 4 kanály	108Mbit/s

V ďalších úvahách počítam s tým, že bude do internetu pripojených 1000 ľudí. Ideálny stav je, že na každý zo štyroch prenosových kanálov bude pripadať 250 účastníkov.

Maximálna teoretická rezerva prenosovej kapacity pre 1 modem, ak sa všetky modemy napojené na jeden prenosový kanál snažia vysielat' naraz:

- dopredný smer: 0,2 Mbit/s
- spätný smer: 0,108 Mbit/s

Reálne zaťaženie siete bude podstatne iné ako uvažované, uvádzané údaje však potvrdzujú, že aj v prípade maximálneho zaťaženia prenosového kanála bude môcť prevádzkovateľ garantovať každému modemu prenosovú kapacitu. Keďže v sieti bude vždy časť modemov vypnutá a aktivita modemov sa bude v čase meniť, bude možné garantovať vyššiu prenosovú kapacitu pre jeden modem.

Konečné určenie ponuky prenosových rýchlostí bude možné jednoznačne stanoviť až po testovaní siete a zavedení do reálnej prevádzky.



---

## 4.6 Možnosti rozšírenia prenosovej kapacity do budúcnosti

Pre rozšírenie prenosovej kapacity do budúcnosti existujú dve základné možnosti. Zvýšenie počtu CMTS. Pridaním jedného CMTS do hlavnej stanice získame dvojnásobné navýšenie prenosovej kapacity. Zníži sa počet pripojených modemov na jeden prenosový kanál v doprednom aj spätnom smere. V rozširovaní sa dá postupovať ďalej, limitujúce bude množstvo rezervných optických vlákien privádzaných do optických uzlov. Vieme, že každý optický uzol má jedno rezervné optické vlákno pre každý smer. To znamená, že je možné priviesť každému optickému uzlu až dva prenosové kanály o kapacite 50 Mbit/s v doprednom a 27 Mbit/s v spätnom smere.

Druhá možnosť je upgrade siete na novší systém EuroODCSIS 3.0. V tomto prípade by sa prenosová kapacita jedného prenosového kanálu zvýšila 4 prípadne až 8 násobne. Znamenalo by to však investíciu do nového zariadenia a nevyužitie starého. Aby bolo možné ponúknuť vyššiu prenosovú rýchlosť ako je limit použitých káblových modemov pre EuroDOCSIS 2.0 teda 50 Mbit/s musel by sa vymeniť modem za modem podporujúci štandard EuroDOCSIS 3.0, ktoré umožňujú teoretickú prenosovú rýchlosť 200 Mbit/s.

## 4.7 Testovanie zavedenej technológie

Celý systém EuroDOCSIS je nutné sledovať a dohliadať na jeho činnosť. Na testovanie systému existuje niekoľko rôznych software-ových a hardware-ových riešení. Ako aj pri prvkoch vyvinutých špeciálne pre implementáciu do systému Eurodocsis existuje množstvo systémov od rôznych výrobcov, ako napríklad Proxilant, Cablelabs alebo rakúskej firmy JM-DATA a mnoho iných [11]. Programy od týchto spoločností umožňujú dohliadať a testovať jednotlivé časti systému. Dohľad je dôležitý nielen pri testovaní systému, ale aj pri udržaní čo najdlhšej bezporuchovej prevádzky. Tieto dohliadacie systémy umožňujú prehľad dôležitých parametrov, ako je vytázenie siete v doprednom aj spätnom smere. Okrem toho odstup signálu od šumu, chybovosť prenosu dát a mnohé iné. Všetky tieto údaje dokážu poskytnúť aj pre jednotlivé modemy v rôznom čase. Vďaka takýmto systémom je možné včasne rozpoznať chybu na niektorom úseku TKR, prípadne na koncovom modeme. Ak napríklad začne modem zvyšovať výkon vysielaného signálu nasvedčuje to problém. Systémy môžu poskytovať službu varovania pomocou odoslania SMS príslušnému pracovníkovi a teda systém nepotrebuje nepretržitú kontrolu.

Pre fyzické meranie parametrov siete slúžiace hlavne pre technických pracovníkov školených pre takéto merania slúži napríklad zariadenie PROMAX-27. Okrem údržby je jeho nasadenie vhodné hlavne pri nasadzovaní a testovaní systému EuroDOCSIS pretože, simuluje pripojenie reálneho modemu. Po zapojení sa správa ako káblový modem. Umožňuje meranie v doprednom aj spätnom smere.

---

Prehľad možností merania prístroja PROMAX-27:

- dopredný smer:
  - o výkon prenosového kanála
  - o parametre kvality siete: MER (modulácia pomeru chýb), BER (bitová chybovosť)
  - o frekvenciu aktívneho kanála
- spätný smer:
  - o kontrola výkonu
  - o útlm na CMTS
  - o frekvencia a šírka pásma
  - o modulácia a prenosová rýchlosť



*Obr. 4.9 PROMAX-27*

V tejto kapitole som sa snažil popísať možnosti merania, ktoré sú potrebné pri testovaní systému, ale aj počas každodennej prevádzky. Na základe meraní môžeme vyhodnotiť pri testovaní stav siete.

Merania by mali potvrdiť splnenie požiadaviek na zavedenie a prevádzku systému EuroDOCSIS, ktoré uvádzam v kapitole 2.3 práce. Je potrebné, aby výkon modemu bol v rozmedzí 45 dBμV a 70 dBμV. Okrem toho je nutné sledovať parametre odstupu signálu od šumu. Pri prekročení doporučenej hranice prestane modem komunikovať s CMTS a teda sa znemožní celé pripojenie modemu do internetu. V prípade vysokého vysielačieho výkonu káblového modemu bude potrebné doplniť účastníku prípojky o útlmový člen, naopak, ak je výkon pod doporučenou hranicou, je nutné hľadať zvýšenie tlmenia na trase.

---

## 5 Technicko–ekonomické vyhodnotenie použitia technológie EuroDOCSIS v porovnaní s inými drôtovými technológiami

Technológia EuroDOCSIS umožňuje využitie existujúcej siete káblových rozvodov. Táto technológia bola postavená a prispôbena existujúcej technológii, preto aby sa využili jej výhody a aby pri zachovaní kvality poskytovaných služieb bola výstavba a realizácia ekonomicky čo najefektívnejšia. Z praxe vieme, a neplatí to len pre oblasť informačných technológií a služieb, že sa presadí často technológia, ktorá práve šetrí náklady a dokáže sa predat' na trhu. Podstatná časť úspechu je ekonomická efektivita a teda aj návratnosť investícií.

EuroDOCSIS som sa rozhodol porovnávať s technológiou FTTH a xDSL. FTTH je budúcnosťou v segmente pripojenia do internetu po optických vláknach. Vzhľadom na to, že systém EuroDOCSIS je pomerne mladý a ešte stále sa intenzívne pracuje na nových štandardoch, ktoré prinesú v budúcnosti kvalitnejšie služby a vyššie prenosové rýchlosti.

Pri obnovovaní EuroDOCSIS, hlavne v primárnej časti siete sa už nepokladajú koaxiálne káble, ale optické vedenia. Táto časť bude, čo sa týka použitých prvkov, podobná ako FTTH. Hlavný rozdiel v použitej technológii a ekonomickej náročnosti je v sekundárnej a terciálnej časti siete a realizácii pripojenia koncových užívateľov.

Druhá alternatíva, doposiaľ najrozšírenejšia technológia, je xDSL. Opäť má spoločnú črtu so systémom EuroDOCSIS 2.0, hlavne v terciálnej časti. A síce je tiež vybudovaná na existujúcich vedeniach a to na telefónnych rozvodoch.

Vzhľadom na veľkosť siete a udržanie prehľadnosti budeme porovnávať len pripojenie účastníkov v bytových domoch.

### 5.1 Analýza nákladov na zavedenie systému EuroDOCSIS

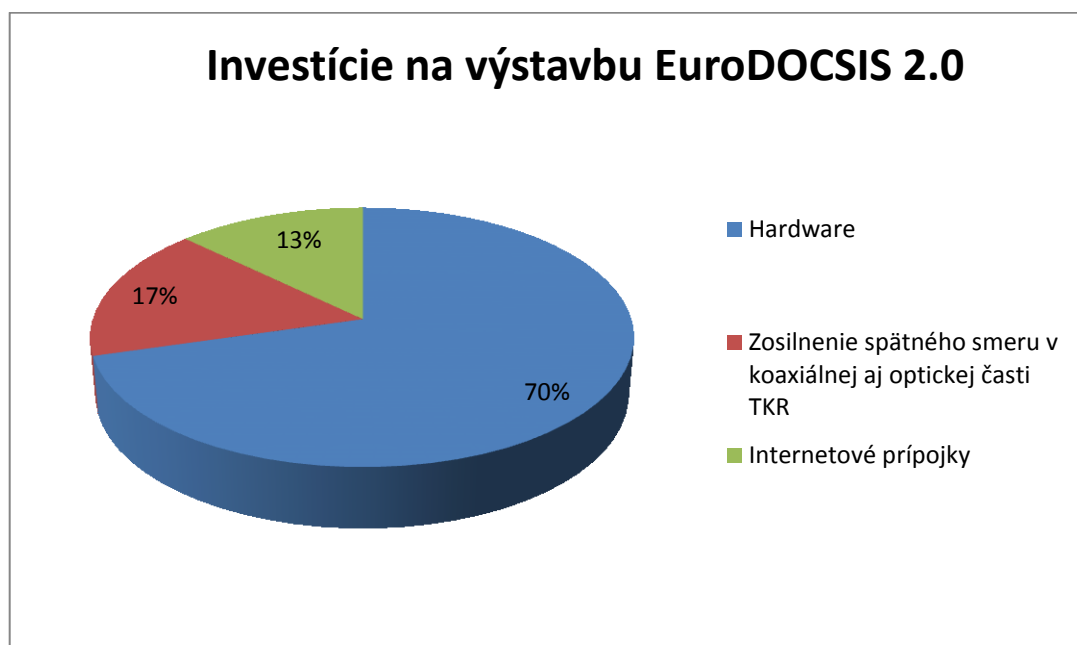
V tejto kapitole sa pokúsim vyčísliť náklady na nasadenie systému EuroDOCSIS do existujúcej TKR analyzovanej v kap. 2. Investíciu zavedenia systému EuroDOCSIS na existujúce rozvody káblovej televízie predstavuje, ako je spomenuté v kapitole 3, doplnenie niekoľkých prvkov. Prehľad nákladov by som rozdelil do troch častí:

1. Zariadenia potrebné pre vybudovanie systému s jeho pripojením do internetu a následné pripojenie do TKR. Tieto náklady predstavujú čiastku 55.000 €.
2. Doplnenie primárnej a sekundárnej časti TKR o potrebné zosilňovače, teda zosilnenie spätného smeru v koaxiálnej aj optickej časti. Na túto časť predpokladám vynaloženie 13000€.

3. Úprava terciálnej časti siete predstavuje doplnenie rozbočovačov a odbočovačov, ako aj prípadná výmena koaxiálneho kábla a výmena za dátovú zásuvku popísanú v kapitole 3. Okrem toho samozrejme káblový modem. V ponuke by mali byť dva druhy, a to obyčajný modem a wifi router. Ceny týchto zariadení sa odlišujú. Internetové prípojky budú určite realizované postupne a koncové zariadenie si zákazník vyberie podľa svojich predstáv a finančných možností. To znamená, že náklady za káblový modem bude preberať sám zákazník. Náklady na pripájanie koncových zákazníkov bez koncových zariadení pri počte 1000 zapojených modemov 1000 by mohlo byť cca. 10.000 € teda 10 € za pripojenie jednej internetovej prípojky v mieste existujúcich káblových rozvodov.

Spolu tieto náklady predstavujú sumu cca 78.000 €. V tejto sume nie je zahrnutá cena práce zamestnancov poskytovateľa, ako aj ďalšie skryté náklady, ktoré je pri realizácii podobne veľkého projektu náročné vyčíslieť. Vyčíslené náklady sa zdajú byť nízke len si musíme uvedomiť, že systém bude implementovaný na existujúcu sieť televíznych káblových rozvodov, ktorá bola pravidelne udržiavaná, keďže boli na nej poskytované služby distribúcie televízneho a rádiového signálu. Výhodou je aj postupná výmena dosluhujúcich koaxiálnych rozvodov za optické vedenia. Od roku 2003 bolo do TKR investovaných približne 55.000 €.

Pri pripojení uvažovaných 1000 zákazníkov predstavuje náklad na pripojenie jedného cca 78 €, čo je číslo, ktoré zaujme každého potencionálneho investora do systému EuroDOCSIS. Záleží na nastavení poplatkov za službu pripojenia do internetu, ktoré určia návratnosť do investície. Ak by bola priemerná cena služby 10€, návratnosť investícií by bola medzi 1 a 2 rokmi, záležalo by ako rýchlo by bolo 1000 prípojok realizovaných.



*Graf 5.1 Prehľad investícií do zavedenia systému EuroDOCSIS 2.0*

---

Na grafe vidíme pomer základných investícií popísaných vyššie. Najväčšiu časť predstavuje zakúpenie potrebného hardwaru ako CMTS, servera, optického prijímača a vysielača. Druhá najväčšia položka je investícia do internetových prípojek koncových užívateľov, bez hodnoty káblového modemu. Najmenšiu položku tvorí doplnenie zosilnenia spätného smeru. Najmenšie dve položky predstavujú na množstvo a veľkosť siete naozaj malú investíciu. Je to vďaka kvalitne postavenej a pripravenej sieti TKR. Z pohľadu na náklady môžeme vidieť aké dôležité je, aby bola sieť na ktorú sa systém implementuje kvalitne vybudovaná. Keby sa nevykonávali úpravy siete postupne, bolo by potrebné tieto úpravy previesť jednorázovo pred zavedením samotného systému EuroDOCSIS 2.0.

Dôležitou súčasťou technicko-ekonomickej analýzy je možnosť rozšírenia prenosovej kapacity siete, ako som ju popísal v kapitole 3.5. V prípade EuroDOCSIS je to možné zakúpením CMTS EuroDOCSIS 3.0, prípadne doplnenie ďalšieho CMTS. Na strane zákazníka to v podstate nemusí znamenať zmenu v prípade doplnenia CMTS to nebude žiadna zmena, pretože systém je spätne kompatibilný. Zmena je potrebná vtedy ak upgrade na EuroDOCSIS 3.0 má zákazník záujem o enormné navýšenie prenosovej rýchlosti povedzme 100 Mbit/s v downloade. Znamená to však len zmenu EuroDOCSIS 2.0 modemu za modem EuroDOCSIS 3.0. Cena EuroDOCSIS 3.0 routra s WIFI a podporou VoIP je cca 100 €.

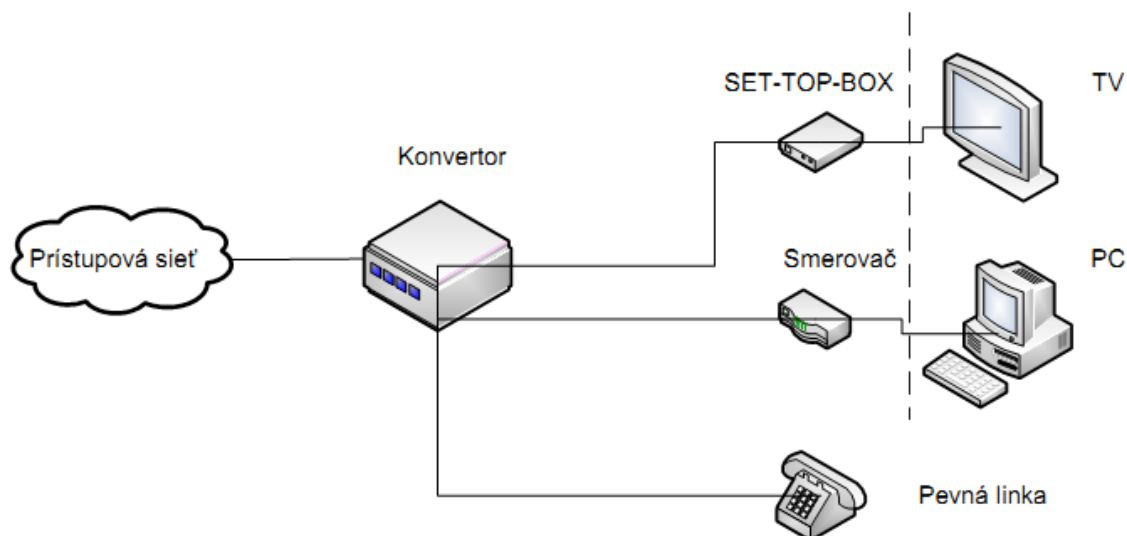
Technológia EuroDOCSIS 2.0 znamená v budúcnosti jednoduchú možnosť upgradu a teda navýšenie konkurencie schopnosti a udržanie klientely. To je základný predpoklad návratnosti investícií ako aj vytvárania zisku.

## **5.2 Analýza alternatívnych drôtových technológií**

V nasledujúcich podkapitolách rozoberám alternatívne drôtové prístupové technológie pre potrebu neskoršieho porovnania so systémom EuroDOCSIS.

### **5.2.1 Analýza nákladov pripojenia pre koncového zákazníka prístupovou metódou FTTH a xDSL**

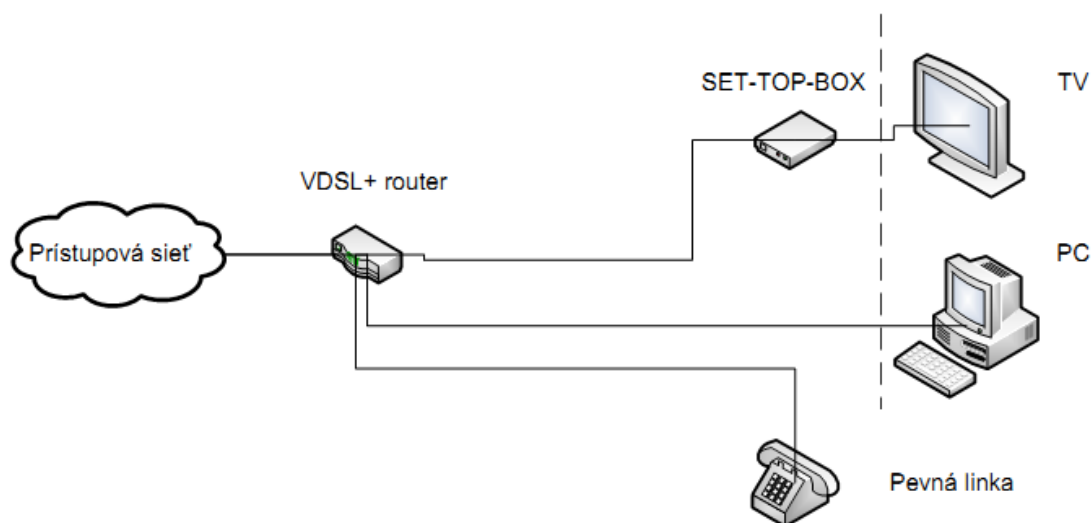
Prvá z alternatívnych drôtových technológií k technológii EuroDOCSIS je FTTx. Zamerať sa chcem hlavne na FTTH, teda zavedenie optického vlákna do bytu. Či už pri pasívnom alebo aktívnom prevedení tejto prístupovej metódy, pripojenie koncového užívateľa je totožné a práve to budeme porovnávať. Budúcnosť je jednoznačne v službách Tripleplay, a preto uvažujem pri mojom porovnaní s porovnávaním kompletných služieb. V prípade EuroDOCSIS je to samozrejmosť, keďže je postavený na rozvodoch káblovej televízie. V prípade FTTH musíme signál z privedeného optického previesť na elektrický, na to slúži konvertor. Na konvertor sú pripájané ostatné zariadenia, ako telefón, smerovač a SET-TOP-BOX, ktorý umožňuje sledovať aj televízny prenos. Celé toto zapojenie môžeme vidieť na obrázku 5.1.



Obr. 5.1 Pripojenie koncového užívateľa pomocou FTTH

Náklady na pripojenie účastníka pomocou FTTH, ktorý by využíval Tripleplay služby je cca 467 €. V tejto sume je zahrnutý konvertor, SET-TOP-BOX, smerovač a potrebná kabeláž. Koncový užívateľ môže pri FTTH bežne využívať prenosovú rýchlosť 100Mbit/s. Cenu SET-TOP-BOXU uvažujeme 80 €.

V prípade prípojky xDSL odpadá nutnosť konvertovať optický signál. Prístupová sieť je však tvorená rozvodmi telefónnej siete, teda krútenou dvojlinkou. Aby bolo možné využiť služby Tripleplay je potrebné opäť nasadiť SET-TOP-BOX. Cena za prípojku závisí od použitej verzie xDSL. V prípade ADSL2 je možné dosiahnuť prenosovú rýchlosť do 12Mbit/s. ADSL2 modem je cenovo priaznivejší ako modem pre VDSL2. Pokiaľ za modem ADSL2 zaplatíme rádovo 30 € za VDSL2 modem už okolo 100 €. Prenosová rýchlosť však môže byť až 100 Mbit/s avšak s obmedzením, že sa modem musí nachádzať do 500 m od ústredne. So zvyšujúcou sa vzdialenosťou modemu od DSL ústredne sa všeobecne radikálne znižuje prenosová rýchlosť pri xDSL. Cena pripojenia môže byť od 117 € po 187 € za VDSL2.



Obr. 5.2 Pripojenie koncového užívateľa pomocou xDSL

Tabuľka 5.1: Prehľad nákladov na pripojenie koncového užívateľa na služby internetu, hlasu a videa

prístupová metóda	prenosová rýchlosť	cena prípojky	
		bez možnosti sledovania TV	s možnosťou sledovania TV
			bez SET-TOP-BOX-u      so SET-TOP-BOX-om
FTTH	100 Mbit/s	387 €	467 €
ADSL2	12 Mbit/s	37 €	117 €
VDSL2	100 Mbit/s	107 €	187 €
EuroDOCSIS 2.0	50 Mbit/s	60 €	90 €

V tabuľke 5.1 je uvedený prehľad predpokladaných nákladov na pripojenie do internetu s možnosťou využiť služby hlasu a videa. Cena predstavuje náklad pre koncového užívateľa, pokiaľ sa nerozhodne poskytovateľ služby v rámci konkurenčného boja zlepšiť svoju pozíciu a teda bude uvažované zariadenia dotovať určitou sumou. V tabuľke 5.2 uvádzame prehľad cien uvažovaných komponentov.

*Tabuľka 5.2: Uvažované náklady na obstaranie jednotlivých komponentov na pripojenie do internetu*

Komponenty	Obstarávacie náklady
Konvertor	330 €
SET-TOP-BOX s HD rozlíšením	80 €
Router s WIFI	50 €
ADSL2 router s VoIP a WIFI	30 €
VDSL2 router s VoIP a WIFI	100 €
EuroDOCSIS 2.0 router s VoIP a WIFI	50 €
Dátová zásuvka pre DOCSIS	3 €
Kabeláž	7 €

### 5.3 Vlastné ekonomicko-technické vyhodnotenie

Vychádzajúc z predošlých kapitol, možno určiť ktorá prístupová technológia predstavuje nižšie, a ktorá vyššie obstarávacie náklady. Pokiaľ uvažujeme o využívaní dátových, hlasových a video, teda televíznych službách, vedie systém EuroDOCSIS. Je to spôsobené tým, že samotný bude postavený na rozvodoch káblovej televízie a teda ponúkajú televíznych a aj rádiových služieb je pre túto technológiu najlacnejšie. Môžeme tvrdiť, že až niekoľko krát lacnejšie ako v prípade FTTH [5,6]. Rozdiel však je, že systém EuroDOCSIS v mojom porovnaní neuvažuje o službe vyžiadaného videa. Zriadenie takejto služby je však na rozhodnutí poskytovateľa služby, pretože prenosová kapacita siete by ho teoreticky umožňovala. Samozrejme je to na ekonomickom zhodnotení a uvážení či táto služba ponúkne konkurenčnú výhodu, keďže zvýši náklady aj na strane poskytovateľa aj zákazníka.

Výhody systému EuroDOCSIS spočívajú vo využití pôvodnej siete TKR a to nielen pre terciálnu časť siete, ale aj primárnu a sekundárnu, čo enormne môže znížiť náklady na jej zavedenie. Ďalšia výhoda je v jednoduchej možnosti navýšenia prenosovej kapacity siete zakúpením EuroDOCSIS 3.0, ktorá umožňuje v súčasnosti pripojenie jedného zákazníka prenosovou rýchlosťou až 1,5Gbit/s. Nevýhodou môže byť použitie špeciálnych DOCSIS modemov, ponuka je v súčasnosti však už dostatočne široká, aby táto nevýhoda nebola nijak zvlášť markantná. Ako bolo spomenuté v prvej kapitole, môže sa zdať náročné dohliadať nad sieťou, keď jediná účastnícka prípojka môže zahltiť šumom spätný smer celej vetvy. Systém FTTH, ako prístupová metóda s najväčším potenciálom do budúcnosti má nevýhodu nielen značných nákladov na pripojenie koncového



užívateľa, ale aj náklady na samotnú výstavbu siete, ktorá je čiastočne v konkurenčných technológiách kompenzovaná. Samotná životnosť po vybudovaní siete je však najvyššia. Samozrejme ak ju porovnávame napríklad s koaxiálnymi rozvodmi, ale len dovtedy pokiaľ sa v rámci údržby a obnovy primárnej časti siete nevymenia všetky rozvody po domové prípojky za optické vlákna. Napriek značným nákladom na vybudovanie siete má FTTH veľký úspech v konkurenčnom boji na celom svete, hlavne vo vyspelejších krajinách.

Systém xDSL najmä verzia VDSL2, nepovedala svoje posledné slovo. Vďaka vybudovanej sieti je stále najpoužívanejšou prístupovou technológiou, ktorá dokáže poskytnúť všetky služby ako konkurencia. V tabuľke 5.3 uvádzame základný popis výhod a nevýhod porovnávaných systémov.

*Tabuľka 5.3: Porovnanie výhod a nevýhod prístupových metód*

Prístupová metóda	Výhody	Nevýhody
EuroDOCSIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- využitie existujúcich rozvodov</li> <li>- jednoduchý upgrade</li> <li>- distribúcia TV a R signálov</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- použitie špeciálnych EuroDOCSIS modemov</li> <li>- náročnejší dohľad nad sieťou</li> </ul>
FTTH	<ul style="list-style-type: none"> <li>- možnosť veľkého navýšenia prenosovej kapacity oproti konkurencii</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nákladná výstavba siete</li> <li>- nutnosť používať konvertor</li> </ul>
VDSL2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- využitie existujúcich rozvodov</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- znižovanie prenosovej rýchlosti so vzdialenosťou od ústredne</li> </ul>

---

## 6 Záver

Začiatok mojej diplomovej práce je venovaný popisu fungovania technológie EuroDOCSIS 2.0 a popisu jednotlivých častí. Popisom komunikácie káblového modemu s CMTS som sa snažil priblížiť túto technológiu jej prednosti a slabosti.

Výsledkom mojej práce je analýza distribučného káblového systému v Bánovciach nad Bebravou. V analýze uvádzam popis jednotlivých prvkov. Ich spojením má sieť vlastnosti, ktoré som meraním na televíznych prípojkách overil. Zavedenie systému EuroDOCSIS je podmienené určitými technickými parametrami, ktoré však nie sú odlišné od správne fungujúceho TKR. Je to z dôvodu, že systém EuroDOCSIS bol presne navrhnutý na tieto pôvodné parametre s ohľadom na čo najjednoduchšiu implementáciu.

Podstatnou časťou úpravy TKR pre zavedenie EuroDOCSIS je zavedenie spätného smeru, ktorý v pôvodnej sieti neexistuje. Spätný smer je potrebný pre komunikáciu káblového modemu v pätnom smere, v ktorom zahajuje svoju prevádzku a vysiela požiadavky pre dátový prenos. Spätný smer sa v koaxiálnej časti buduje pomocou doplnenia respektíve výmeny zosilňovačov ktoré zosilňujú v spätnom smere frekvencie od 5 do 65 MHz. V optickej časti je nutné využiť rezervné optické vlákna k prenosu signálu smerom ku hlavnej stanici a teda aj doplnením príslušných optických vysielačov a prijímačov. Ďalším krokom je úprava účastníckej prípojky s odlišením ponuky distribúcie len televízneho a rádiového signálu od ponuky, ktorá dopĺňa aj dátový prenos. Tento krok sa realizuje pomocou filtra spätného smeru. Po popísaní postupu zavedenia systému som navrhol systémy a zariadenia na testovanie a meranie jednotlivých parametrov systému.

V záverečnej časti sa venujem analýze nákladov na výstavbu siete, ktoré predstavujú 78.000 €. Na základe úvahy, že na sieť bude pripojených 1000 zákazníkov služby pripojenia do internetu, môžem uviesť, že náklady na jednu prípojku predstavujú len 78€. Pri mesačnom poplatku 10 € je návratnosť možné očakávať v priebehu 1-2 rokov. Záleží na rýchlosti pripojenia zákazníkov.

V porovnaní s inými drôtovými technológiami som sa zameral na pripojenie koncových zákazníkov. Výsledkom bolo, že EuroDOCSIS má výhodu poskytovania televízneho a rádiového signálu bez ďalších nákladov na nákup drahého zariadenia. Náklady na zriadenie jednotlivých systémov sa líšia podľa stavu pred zavedením. Systémy EuroDOCSIS a xDSL majú výhodu už vybudovaných prístupových sietí, ktoré enormne zrýchľujú návratnosť. Systém FTTH je systémom, ktorý má najvyššie náklady na zavedenie, avšak má najväčšie predpoklady zvyšovať prenosovú kapacitu do budúcnosti. Z hľadiska poskytovania služieb sú systémy na tom podobne, dokážu aj keď pri rôznych nákladoch, poskytovať podobné služby. Každá z porovnávaných technológií má iný typ média, ktoré tvorí prístupovú časť siete. V prípade FTTH je to optické vlákno, xDSL krútená

---

dvojlinka telefónnych rozvodov a následne EuroDOCSIS, ktorého prístupová sieť je tvorená koaxiálnymi káblami.

---

## Použitá literatura

- [1] HÁJEK , J.. Vývoj standardů pro kabelové modemy [online]. 04. 12. 2005. [cit. 2008-11-28]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz>>.
- [2] PUŽMANOVÁ, Rita. Širokopásmový Internet: Přístupové a domácí síte. Computer Press, 2004. 377 s. ISBN: 80-251-0139-8
- [3] KELLER, A. Datenübertragung im Kabelnetz. Springer, 2005. 179 s. ISBN: 3-540-22501-3
- [4] Kabelnetz-Architektur. <<http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/1510061.htm>> (2012-03-25)
- [5] Optika do domu FTTH: kde je pes zakopaný? <<http://as.profi-network.sk/aktuality/optika-do-domu-ftth-kde-je-pes-zakopany>> (2012-04-08)
- [6] Kabel-Zukunft. <<http://www.heise.de/ct/artikel/Kabel-Zukunft-1034135.html>> (2010-12)
- [7] Cisco uBR7225VXR Universal Broadband Router. [http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/modules/ps4969/product\\_data\\_sheet0900aecd806b8f65.html](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/modules/ps4969/product_data_sheet0900aecd806b8f65.html) (2012-02-12)
- [8] Cisco uBR7225VXR Platform UBR-E-16U and UBR-E328U Broadband [http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/modules/ps4969/product\\_data\\_sheet0900aecd806b8f35.html](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/modules/ps4969/product_data_sheet0900aecd806b8f35.html) (2012-02-12)
- [9] Touchstone Wireless Telephony Modem WTM552B and WTM552H [http://www.arrisi.com/product\\_catalog/\\_docs/\\_specsheets/070318\\_touchstone\\_wtm552b\\_wtm552h.pdf](http://www.arrisi.com/product_catalog/_docs/_specsheets/070318_touchstone_wtm552b_wtm552h.pdf) (2012-02-12)
- [10] Catalogue Vector. [http://www.vector.com.pl/files/231/71/9\\_080520\\_product\\_catalogue\\_eng.pdf](http://www.vector.com.pl/files/231/71/9_080520_product_catalogue_eng.pdf) (2012-02-12)
- [11] <http://cablelabs.com> (2010-06-11)
- [12] <http://www.cableeurope.eu/index.php?page=eurodocsis> (2010-06-11)